

R R James
1921.

from Dr Adams Frost.

Stewart Duke-Elder

OPTIQUE

PHYSIOLOGIQUE

Paris. — Imprimerie de E. Martinet, rue Mignon, 2.

TROISIÈME PARTIE

DES PERCEPTIONS VISUELLES.

§ 26. — Des perceptions en général.

Les sensations que produit la lumière dans notre appareil nerveux visuel nous servent à nous représenter l'existence, la forme et la position des objets extérieurs. Ces représentations sont désignées sous le nom de *perceptions visuelles.* Nous avons à développer, dans cette dernière partie de l'optique physiologique, les résultats qu'on a pu déduire jusqu'ici, par la méthode d'observation, sur les conditions de la formation des perceptions visuelles.

Comme les perceptions d'objets extérieurs sont des représentations, et que les représentations sont toujours des résultats de notre activité psychique, les perceptions ne peuvent se produire qu'à l'aide de l'activité psychique; l'étude des perceptions appartient donc, à proprement parler, à la psychologie, en tant qu'il s'agit de rechercher la nature et les lois de l'intervention de l'âme dans la production des perceptions. Cependant, un vaste champ d'études reste ouvert aux recherches physico-physiologiques : il appartient à la science d'observation de rechercher et de déterminer quelles sont les circonstances particulières des moyens d'action physiques et de l'excitation physiologique qui donnent lieu à la formation de telle ou de telle représentation sur la nature des objets extérieurs que nous percevons. Nous aurons donc à rechercher, dans cette troisième partie, quelles sont les circonstances particulières des images rétiniennes, de la conscience de l'action musculaire, etc., auxquelles se rattache la perception d'une position déterminée d'un objet, sous le rapport de la direction et de la distance; quelles sont les particularités des images qui nous font percevoir l'objet sous la forme de corps à trois dimensions; quelles sont les conditions qui nous font paraître simple ou double un objet vu avec les deux yeux, etc. — Notre but n'est donc essentiellement que d'examiner les éléments de la sensation qui donnent lieu à l'idée ou représentation que nous nous faisons des objets, et cela sous les rapports qui sont importants au point de vue des perceptions obtenues. Cette étude peut très-bien se faire par

les méthodes d'observation. Nous ne pourrons pas éviter de parler des activités psychiques et de leurs lois, en tant qu'elles exercent leur influence sur les perceptions sensuelles, mais nous ne considérerons pas l'étude et la description de ces activités psychiques comme une partie essentielle de notre travail, parce que nous pourrions difficilement rester sur le terrain des faits certains et d'une méthode basée sur des principes évidents et universellement reconnus. Telle est, je crois, la ligne de démarcation que nous devons poser actuellement entre la partie psychologique de la physiologie des sens et la psychologie pure, dont la tâche essentielle est d'établir, autant qu'il se peut, les lois et la nature des activités de l'âme.

Cependant, dès qu'on veut obtenir un aperçu d'ensemble des phénomènes, et qu'on ne veut pas se borner à énumérer une suite de faits sans liaison, il est impossible d'éviter complétement de tenir compte des activités de l'âme qui interviennent dans les perceptions sensuelles; pour ce motif, et pour éviter les malentendus sur ma manière de concevoir les choses, je développerai, dans l'appendice de ce paragraphe, ce que je crois devoir admettre au sujet de ces activités de l'âme. Toutefois, puisqu'on sait qu'il est difficile de se mettre d'accord pour des déductions aussi abstraites; puisque des penseurs d'une grande perspicacité, tels que Kant, ont depuis longtemps développé et analysé rigoureusement ces circonstances sans avoir pu entraîner l'assentiment durable et universel des gens instruits, j'essayerai, dans ceux de paragraphes qui ont spécialement pour objet l'étude des perceptions visuelles, de ne rien préjuger sur le mode d'action de l'âme, sujet qui a été et qui restera peut-être toujours un objet de discussion entre les différentes écoles philosophiques. En procédant ainsi, je tâcherai, en évitant des discussions sur des propositions abstraites, et qui ne sont pas indispensables pour notre étude, de ne pas nuire à l'accord qu'il est possible d'obtenir sur le terrain des faits.

Il ne sera sans doute pas inutile de préparer d'abord le lecteur à certaines particularités communes aux actes psychiques qui interviennent dans les perceptions des divers sens, particularités que nous rencontrerons constamment en traitant les différents sujets, et qui paraissent souvent paradoxales et inconcevables dans quelques cas, lorsqu'on ne s'est pas clairement rendu compte de leur signification générale et leur importance continuelle.

1) La règle générale d'après laquelle se déterminent les représentations visuelles que nous nous formons lorsque, sous des conditions quelconques, ou à l'aide d'instruments d'optique, il s'est produit une

impression sur notre œil, c'est que *nous nous figurons toujours l'existence, dans le champ visuel, d'objets tels qu'ils devraient s'y trouver pour produire la même impression sur l'appareil nerveux, lors de l'exercice normal et ordinaire de l'œil.* Pour employer l'exemple d'un fait déjà cité, admettons que le globe de l'œil ait été excité mécaniquement à l'angle externe : nous croyons alors voir devant nous, dans le champ visuel, une apparition lumineuse située du côté nasal. En effet, dans l'usage ordinaire de nos yeux, où les excitations qu'ils reçoivent sont dues à la lumière extérieure, pour que la rétine soit excitée vers le grand angle de l'œil, la lumière extérieure doit venir, en réalité, du côté nasal. C'est donc conformément à la règle que nous venons d'établir que nous localisons, dans ce cas, un objet lumineux dans la partie désignée du champ visuel, bien que l'excitation mécanique ne vienne ici ni du champ visuel antérieur à l'œil, ni du côté interne, mais, au contraire, de la partie externe du globe oculaire, et de sa région postérieure. Nous verrons par la suite, dans un grand nombre de cas, la validité générale de cette règle.

Dans l'énoncé de la règle, nous avons considéré comme usage normal de l'œil, le cas où l'appareil nerveux visuel est excité par la lumière extérieure, qui, à partir des corps opaques qu'elle a rencontrés en dernier lieu sur son trajet, arrive à l'œil par un trajet rectiligne à travers une couche d'air non interrompue. C'est ce qui est justifié parce que ce mode d'excitation est celui qui existe dans une majorité de cas assez immense pour qu'il soit permis de considérer comme de rares exceptions tous les autres cas où la marche des rayons est modifiée par des surfaces réfringentes ou réfléchissantes, ou bien où l'excitation n'est pas produite par la lumière extérieure. Cette circonstance provient de ce que la rétine, située au fond du globe solide de l'œil, est assez complétement abritée contre toutes les autres actions excitantes et n'est facilement accessible qu'à la lumière extérieure. Du reste lorsque, par un usage continuel, l'emploi d'un instrument d'optique, de lunettes, par exemple, est devenu régulier, l'interprétation des images visuelles s'accommode aussi, jusqu'à un certain point, à ces conditions modifiées.

La règle établie répond d'ailleurs à une particularité commune à toutes les perceptions sensuelles et n'est pas spéciale à la vue. — Ainsi dans l'immense majorité des cas, l'excitation des nerfs tactiles se produit par des actions appliquées aux extrémités de ces nerfs qui sont situées à la surface de la peau ; ce n'est qu'exceptionnellement que les troncs peuvent être excités par des influences un peu fortes. Aussi, conformément à notre règle, localisons-nous, dans la perception, à la sur-

face périphérique correspondante, toutes les excitations des nerfs de la peau, même lorsqu'elles ont porté sur les troncs ou sur l'extrémité centrale elle-même. Les exemples les plus frappants et les plus surprenants de cette illusion sont ceux qui se présentent en l'absence complète de la partie de peau périphérique correspondante, comme chez les amputés. Ces personnes, encore longtemps après l'opération, croient éprouver des sensations très-vives dans le pied qui leur manque, elles sentent exactement quel est le point de tel ou tel orteil qui est douloureux. Naturellement l'excitation ne peut porter, dans ce cas, que sur le tronçon encore existant du nerf, dont les filets aboutissaient aux orteils coupés, et c'est le plus souvent la terminaison du nerf dans la cicatrice qui est excitée par une pression extérieure ou par la contraction du tissu cicatriciel. Parfois, pendant la nuit, les sensations dans l'extrémité absente sont tellement vives, que les sujets sont obligés d'y porter la main pour s'assurer que cette extrémité leur manque réellement.

Ainsi, dans ces cas d'excitation insolite des organes des sens, nous nous formons des idées inexactes sur les objets, et c'est ce qui les a fait désigner sous le nom d'*illusions des sens*. Il est évident que l'erreur n'est produite par une action inexacte ni de l'organe sensitif, ni de l'appareil nerveux qui s'y rapporte : tous deux ne peuvent agir que d'après les lois qui régissent une fois pour toutes leur action. L'illusion ne réside que dans l'interprétation des données fournies par les sensations, ce qui mène à une représentation inexacte.

Les activités psychiques qui nous amènent à conclure qu'un objet déterminé, de structure déterminée, se trouve en un endroit déterminé qui est en dehors de nous, ne sont pas, en général, des actes conscients mais des actes inconscients. Dans leurs résultats, ils sont analogues à des *conclusions*, puisque l'effet que nous observons sur nos sens nous amène à nous représenter une cause de cet effet ; mais en réalité nous ne pouvons percevoir directement que les excitations nerveuses, c'est-à-dire les effets et jamais les objets extérieurs. Mais ce qui se passe diffère d'une conclusion, — en prenant ce mot dans sa signification ordinaire, — en ce qu'une conclusion est un acte de la pensée consciente. C'est ainsi qu'un astronome fait un raisonnement véritablement conscient lorsque, d'après les images perspectives que lui présentent les astres à différentes époques et en différents points de l'orbite terrestre, il calcule la position de ces astres dans l'espace, leur distance à la terre, etc. L'astronome appuie ses déductions sur une connaissance consciente des principes de l'optique. Cette connaissance de l'optique fait défaut dans les actes ordinaires de la vision. Cependant on nous permettra de désigner

les actes psychiques de la perception ordinaire sous le nom de *jugements inconscients*, ce nom les distinguant suffisamment de ce qu'on appelle les jugements conscients; bien qu'on ait mis et qu'on mette peut-être encore en doute l'analogie de ces deux genres d'action psychique, l'analogie des résultats de ces jugements inconscients et conscients ne présente aucun doute.

Ces jugements inconscients par lesquels nous remontons des sensations à leurs causes, appartiennent, par leurs résultats, à ce qu'on appelle les *jugements par induction*. Comme, dans une majorité innombrable de cas, l'excitation de la rétine à l'angle externe de l'œil provenait d'une lumière qui arrivait à l'œil en venant du côté nasal, nous jugeons qu'il en est de même dans tout cas nouveau où l'excitation intéresse la même partie de la rétine, de même que nous prétendons que tout homme qui vit à présent doit mourir, parce que l'expérience nous a appris jusqu'ici que tous les hommes ont fini par mourir.

Mais, de plus, comme ces *inductions inconscientes* ne sont pas des actes de la pensée libre et consciente, elles s'imposent nécessairement, et l'on ne peut pas s'en affranchir par une connaissance exacte des choses. Nous avons beau comprendre de quelle manière une pression sur l'œil nous donne l'idée d'une apparition lumineuse du champ visuel, nous ne pouvons ni nous affranchir de la conviction que cette apparition lumineuse se trouve réellement dans la partie déterminée du champ visuel, ni nous former l'idée d'une apparition lumineuse située à la partie excitée de la rétine. Il en est de même pour toutes les images que nous fournissent les instruments d'optique.

Malgré le nombre et la variété des exemples qui nous montrent combien les associations d'idées deviennent inébranlables par suite de fréquentes répétitions, même lorsqu'elles ne reposent pas sur une association naturelle, mais qu'elles proviennent d'une convention, telle que celle entre la représentation écrite, le son et la signification d'un mot, plusieurs physiologistes et psychologues regardent cependant l'association de la sensation avec la conception d'un objet comme s'imposant avec tant de force, qu'ils sont peu disposés à reconnaître que cette association repose, en grande partie du moins, sur l'expérience acquise, c'est-à-dire sur un acte psychique ; ils cherchent, au contraire, un lien mécanique, à l'aide de structures organiques préexistantes. Sous ce rapport, on doit attacher un intérêt très-particulier à toutes les observations qui montrent comment l'appréciation des sensations se modifie et s'adapte aux conditions nouvelles, lorsqu'on expérimente et qu'on s'exerce dans des circonstances modifiées ; à voir comment, d'une part, on apprend à tenir compte de particularités de la sensation qu'on ne remarque pas

ordinairement, alors qu'elles ne contribuent pas à fournir une idée de l'objet, et comment, d'autre part, cette nouvelle accoutumance peut aller assez loin pour que l'expérimentateur, remis dans les conditions normales primitives, devienne le sujet d'illusions des sens.

Les faits de ce genre font reconnaître l'influence étendue que l'expérience, l'exercice et l'habitude exercent sur nos perceptions. Mais il est impossible de déterminer d'une manière complète et satisfaisante jusqu'où va réellement cette influence. Les enfants et les animaux nouveau-nés fournissent peu de champ à l'étude, et les observations qu'on a faites sur eux ont une signification extrêmement douteuse; du reste, on ne peut même pas refuser complétement aux nouveau-nés l'expérience et l'exercice dans les sensations tactiles et les mouvements du corps. C'est pour cette raison que j'ai donné à la règle énoncée plus haut une forme qui ne préjuge rien sur cette question et ne s'exprime que sur le résultat, de sorte qu'elle peut être admise même par ceux des lecteurs qui ont des idées tout à fait différentes sur la production de la conception des objets extérieurs.

2) Une seconde propriété générale de nos perceptions sensuelles, c'est que *nous ne prêtons facilement et exactement l'attention à nos sensations qu'en tant que nous pouvons les utiliser pour reconnaître des objets extérieurs ; nous sommes habitués à faire abstraction, au contraire, de toutes les parties de nos sensations qui n'ont aucune signification relativement aux objets extérieurs*, de sorte que l'observation de ces sensations subjectives exige le plus souvent le secours de circonstances favorables et d'un exercice tout particulier. Tandis que rien ne paraît plus facile au premier abord, que d'avoir conscience de nos propres sensations, l'expérience nous apprend que, pour découvrir les sensations subjectives, il faut bien souvent, soit un don particulier, comme Purkinje nous en fournit un exemple si remarquable, soit un hasard, soit une spéculation théorique. C'est ainsi que Mariotte a trouvé, par voie spéculative, les phénomènes de la tache aveugle, et que j'ai découvert, en acoustique, l'existence des sons résultants par somme. Dans la majorité des cas, c'est sans doute le hasard qui a fait rencontrer les différents faits de ce genre aux observateurs qui ont dirigé particulièrement leur attention sur les phénomènes subjectifs ; c'est seulement dans les cas où les phénomènes subjectifs deviennent assez intenses pour nuire à la perception des objets, qu'ils sont remarqués par tout le monde. Dès que les phénomènes sont découverts, il est en général facile à d'autres observateurs de les percevoir lorsqu'ils se placent dans les conditions favorables à l'observation, et qu'ils y appliquent leur attention. Mais, dans un grand nombre de cas, tels que

l'observation des phénomènes de la tache aveugle, la perception des sons harmoniques et des sons résultants qui accompagnent les sons fondamentaux et les consonnances, etc., il faut une attention si soutenue, même avec le secours des circonstances extérieures les plus convenables, que bien des personnes ne réussissent pas dans ces expériences. La plupart des personnes ne perçoivent même d'abord les images accidentelles des objets éclairés que dans des circonstances extérieures spécialement favorables, et ce n'est qu'après des exercices fréquents qu'on apprend à voir aussi les images plus faibles de cette espèce. Une observation très-fréquente, qui s'explique de même, est celle des personnes qui souffrent d'une maladie quelconque de l'œil, qui leur rend la vision difficile ; ces personnes remarquent subitement les mouches volantes qui existaient de tout temps dans leur corps vitré, et croient fermement que ces corpuscules ne se sont produits que depuis que l'œil est malade ; dans la plupart des cas, il est arrivé simplement que l'inquiétude a rendu le patient plus attentif à ses phénomènes visuels. Il se présente aussi des cas de cécité progressive d'un œil, datant d'une époque indéterminée, et dont les sujets atteints s'aperçoivent par hasard en fermant l'œil sain.

Très-souvent les personnes dont on attire l'attention pour la première fois sur les images doubles binoculaires s'étonnent vivement de ne pas les avoir remarquées plus tôt, puisqu'on ne voit ordinairement simples qu'un très-petit nombre d'objets qui sont toujours à peu près à la même distance de l'œil que le point de fixation, tandis qu'à tous les moments de la vie la plupart des objets, à savoir tous ceux qui sont plus éloignés ou plus rapprochés, paraissent toujours doubles.

Il faut donc que nous apprenions d'abord à appliquer notre attention à nos diverses sensations, et c'est ce que nous n'apprenons ordinairement à faire que pour les sensations qui nous aident à reconnaître les objets extérieurs. C'est à cette seule fin que les sensations ont de l'importance pour nous dans la vie ordinaire ; les sensations subjectives ne nous intéressent, le plus souvent, que pour les recherches scientifiques : lorsqu'on les remarque dans l'usage ordinaire des sens, elles ne peuvent être qu'un sujet de trouble. C'est pourquoi, tandis que nous acquérons une délicatesse et une certitude extraordinaires dans les observations objectives, non-seulement il n'en est pas de même pour les observations subjectives : nous acquérons, au contraire, à un degré remarquable, la faculté de ne pas les apercevoir et de nous en affranchir dans l'appréciation des objets, même lorsque leur intensité pourrait facilement les faire remarquer.

Le signe distinctif le plus général des images subjectives paraît

consister particulièrement en ce qu'elles accompagnent tous les mouvements que l'œil exécute dans le champ visuel. C'est ainsi que les images accidentelles, les mouches volantes, la tache aveugle, la poussière lumineuse du champ obscur, se meuvent avec l'œil et se superposent successivement aux différents objets qui sont en repos dans le champ visuel. Mais lorsque les mêmes phénomènes se représentent toujours aux mêmes points du champ visuel, on les considère comme objectifs et appartenant aux objets; c'est ce qui se présente pour les phénomènes de contraste produits par les images accidentelles.

3) La même difficulté que nous rencontrons dans l'observation des sensations de nature subjective, c'est-à-dire qui sont produites par des causes internes, se présente aussi lorsqu'il s'agit d'analyser en leurs parties constituantes des sensations composées que la contemplation de quelque objet unique nous présente toujours combinées de la même manière. Dans des cas de ce genre, l'expérience nous apprend à reconnaître un agrégat complexe de sensations comme le signe d'un objet simple et nous habitue à considérer la sensation complexe comme un tout indivis; aussi ne pouvons-nous pas, sans secours étranger, avoir conscience des parties composantes d'une semblable sensation. Nous rencontrerons, par la suite, beaucoup d'exemples de ce genre. Ainsi, par exemple, la perception de la direction où se trouve un objet par rapport à l'œil, repose sur la combinaison des sensations d'après lesquelles nous jugeons de la position de l'œil et de la distinction que nous établissons entre les parties de la rétine qui reçoivent de la lumière et celles qui n'en reçoivent pas. La perception de la forme d'un corps à trois dimensions repose sur la combinaison de deux perspectives différentes reçues par les deux yeux. La notion de l'éclat d'une surface, qui paraît une qualité simple, repose sur les différences de coloration ou d'intensité de ses images formées dans les deux yeux. Ces propositions ont été découvertes théoriquement et peuvent être démontrées par des expériences convenables, mais il est presque toujours très-difficile et souvent impossible de s'en apercevoir par l'observation directe ou par la seule analyse des sensations. Même pour des sensations bien plus composées, dont la combinaison ne répond jamais qu'à des objets compliqués qui se présentent fréquemment, l'analyse de la sensation à l'aide de la simple observation devient d'autant plus difficile que la même combinaison se représente plus fréquemment et que nous nous sommes habitués davantage à la considérer comme le signe normal de la structure réelle de l'objet. — Comme exemple de ce fait, citons l'expérience bien connue, d'après laquelle les couleurs d'un paysage se présentent avec beaucoup plus d'éclat et de netteté que d'habitude lorsqu'on les regarde en incli-

nant ou en renversant la tête. Dans le mode habituel de l'observation, nous ne cherchons qu'à reconnaître exactement les objets pour eux-mêmes. Nous savons que des surfaces vertes présentent une nuance un peu modifiée quand elles sont vues à une certaine distance ; nous nous habituons à ne pas tenir compte de cette modification, et nous apprenons à identifier le vert modifié des forêts et des arbres éloignés avec la couleur qu'ils auraient à une faible distance. Pour des objets très-éloignés, comme des chaînes de montagnes, il ne reste que peu de chose de la couleur propre de ces corps, parce qu'elle est le plus souvent masquée par celle de l'atmosphère éclairée. Ce gris-bleu indéterminé, qui confine par en haut au champ bleu clair du ciel ou à la lueur jaune-rouge du soir, par en bas au vert vif des prairies et des forêts, est très-sujette aux modifications par contraste. C'est là, pour nous, la couleur indéterminée et changeante des lointains, dont nous pouvons bien remarquer assez exactement les variations avec l'heure et avec l'éclairage, mais dont nous ne cherchons pas à déterminer la vraie nature, précisément parce que nous n'avons pas à la rapporter à un objet déterminé et que nous la savons exposée à des modifications. Mais dès que nous nous plaçons dans des conditions exceptionnelles, en regardant, par exemple, par dessous le bras ou entre les jambes, le paysage nous apparaît comme une image plane, tant à cause de la position insolite de son image dans l'œil qu'à cause de l'inexactitude que présente alors l'appréciation binoculaire de la distance, ainsi que nous le verrons plus loin. Il arrive même que, pour la position renversée de la tête, nous voyons les nuages sous une perspective exacte, tandis que les objets terrestres présentent l'aspect d'une peinture sur une surface verticale, aspect ordinaire des nuages. Aussitôt les couleurs perdent leur relation avec la distance des objets, elles apparaissent pures, avec leurs différences véritables (1). Nous reconnaissons alors, sans peine, que le gris-bleu indéterminé des lointains est souvent un violet assez saturé, que le vert de la végétation se transforme insensiblement en ce violet en passant par le vert-bleu, et ainsi de suite. Toute cette différence me paraît provenir simplement de ce que les couleurs ne sont plus alors pour nous des signes de la nature des objets, mais seulement des sensations différentes et que, pour cette raison, nous en reconnaissons plus exactement les différences véritables, n'étant plus induits en erreur par d'autres considérations.

La difficulté que nous éprouvons à percevoir les images doubles

(1) La même explication est donnée par O. N. Rood, in *Sill. Journ.*, 2, XXXII, p. 184-185 (1861).

binoculaires, lorsque celles-ci peuvent être considérées comme se rapportant à un seul et même objet extérieur, nous fournira un exemple remarquable de la manière dont la connaissance du rapport entre les sensations et les objets extérieurs peut altérer la perception des sensations les plus simples.

Nous pouvons faire des expériences analogues dans le domaine d'autres perceptions sensuelles. — La sensation du timbre d'un son est composée, comme je l'ai fait voir ailleurs (1), d'une série de sensations de ses divers sons partiels (son fondamental et sons harmoniques), mais il est excessivement difficile de décomposer en ses parties constituantes la sensation composée d'un son. — La sensation tactile de l'humide est composée de celle du froid et de celle du glissement facile sur la surface. Aussi, lorsque nous rencontrons à l'improviste un morceau de métal poli et froid, croyons-nous souvent avoir touché quelque chose d'humide. — Il serait facile d'accumuler des exemples de ce genre. Ils font tous voir que nous sommes admirablement exercés à déduire de nos sensations la nature objective des objets extérieurs, mais que nous sommes complétement inexpérimentés dans l'observation de nos sensations elles-mêmes, et que notre habitude de les rapporter aux objets extérieurs nous empêche même d'avoir nettement conscience de ces sensations.

Ce qui précède ne s'applique pas seulement aux différences qualitatives de la sensation, mais aussi à la perception des positions dans l'espace. — Ainsi les mouvements d'un homme qui marche sont pour nous un aspect très-familier ; nous les considérons comme un ensemble, et nous avons tout au plus conscience de leurs particularités les plus remarquables ; il faut une grande attention et un choix particulier du point de vue pour reconnaître les oscillations verticales et latérales de la démarche : il faut choisir des points ou des lignes convenablement situés dans le fond, et leur comparer les positions de la tête. Mais qu'on regarde à travers une lunette astronomique, qui donne des images renversées, des hommes qui marchent au loin, on voit avec surprise les sauts et les oscillations bizarres qui accompagnent la gradation : on n'éprouve plus aucune difficulté à reconnaître les oscillations du corps et bien d'autres particularités de la marche ; c'est ainsi que les différences individuelles et leurs causes attirent facilement l'attention, tout simplement parce que cet aspect n'est plus celui qui nous est familier. En revanche, dans l'image renversée, on cesse de reconnaître facilement

(1) Helmholtz, Die Lehre von den Tonempfindungen, Braunschweig, 1862. (Une traduction française est sous presse.)

le caractère de la démarche, de voir si elle est aisée ou lourde, majestueuse ou gracieuse.

4) Il peut souvent devenir très-difficile de distinguer, dans les notions acquises par le sens de la vue, ce qui provient immédiatement de la sensation et ce qui est attribuable, au contraire, à l'expérience et à l'exercice. C'est à cette difficulté que se rattache la grande querelle qui existe à ce sujet entre les différents observateurs. Les uns sont disposés à attribuer la plus large place à l'influence de l'expérience, et à en déduire notamment toutes les notions d'espace ; cette opinion peut être nommée *théorie empiristique*. Les autres sont bien obligés d'admettre l'influence de l'expérience pour un certain nombre de perceptions, mais ils croient devoir admettre, pour certaines notions élémentaires qui se présentent de la même manière chez tous les observateurs, un système de notions innées et non basées sur l'expérience ; c'est ce qu'ils font en particulier pour les notions d'espace. Par opposition à la précédente, nous pouvons désigner cette théorie sous le nom de *théorie nativistique* des perceptions sensuelles.

Dans cette discussion, il faut, ce me semble, s'attacher aux principes suivants.

Restreignons le sens du mot *représentation* (Vorstellung) à l'*idée* ou image que notre souvenir nous présente d'un objet absent ; celui du mot *notion* (Anschauung) à la perception accompagnée des sensations correspondantes, celui d'*impression* (Perception) à une notion qui ne contient rien de ce qui ne ressort pas immédiatement des sensations du moment, c'est-à-dire à une notion telle qu'elle pourrait se former sans aucun souvenir de ce qu'on aurait vu auparavant. On comprend tout d'abord qu'une seule et même notion peut être accompagnée des sensations correspondantes à des degrés très-divers, et que, par conséquent, la *représentation* et l'*impression* peuvent se combiner dans des rapports très-différents pour former une *notion*.

Lorsque je me trouve dans une chambre connue, éclairée par un beau jour, j'ai une notion accompagnée d'un grand nombre de sensations très-énergiques. Pendant le crépuscule, je ne distinguerai, dans la même chambre, que les objets les plus éclairés, tels que les fenêtres ; mais ce que je distingue encore réellement se confond tellement avec les souvenirs que j'ai de cette chambre, que je reste à même de m'y promener avec assurance et d'y trouver les objets que je cherche, même lorsque je ne puis en saisir qu'une image vague, qui serait tout à fait insuffisante pour les distinguer sans la connaissance préalable que j'en ai acquise. Enfin, lorsque cette chambre est dans une obscurité complète, je puis encore m'y retrouver au moyen du souvenir qui me reste

des images qu'elle m'a présentées : on voit que restreignant successivement les données fournies par les sens, on peut passer progressivement de la notion sensuelle à la pure représentation. Mes mouvements deviennent d'autant plus incertains et ma notion d'autant plus inexacte que les données des sens viennent à manquer davantage; il n'y a pas, cependant, de saut véritable; au contraire, la sensation et le souvenir se complètent d'une manière continue, mais dans des proportions différentes.

Mais lors même que nous regardons une chambre par le plus bel éclairage, il suffit d'un peu de réflexion pour se convaincre qu'une grande partie de notre notion doit reposer sur des éléments puisés dans le souvenir et l'expérience. L'habitude que nous avons de la déformation des images de corps parallélipipédiques par la perspective, l'expérience que nous avons de la forme des ombres portées, exercent une influence considérable, comme nous le verrons plus loin, sur le jugement que nous portons sur la forme et la grandeur. Si, pendant que nous regardons la chambre, nous fermons un œil, nous ne croyons pas la voir d'une manière moins nette et moins déterminée qu'avec les deux yeux, et cependant nous aurions exactement la même image si tous les points de la chambre étaient déplacés de telle sorte que, tout en restant sur les mêmes lignes de visée, ils vinssent se placer à des distances tout à fait quelconques de l'œil.

Ainsi tandis que, dans un cas semblable, nous avons affaire à un phénomène sensuel excessivement équivoque, nous lui attribuons cependant une signification tout à fait déterminée, et il est loin d'être facile d'avoir conscience de ce fait que l'image monoculaire d'un objet bien connu donne une perception bien plus défectueuse que la vision binoculaire. De même, lorsqu'un observateur inexpérimenté examine des photographies stéréoscopiques, il est souvent difficile de reconnaître s'il éprouve ou non l'illusion particulière que donne l'instrument.

Nous voyons donc comment les images que l'expérience a laissées dans notre souvenir se combinent avec les sensations actuelles pour nous donner une notion de l'objet qui s'impose d'une manière irrésistible à notre perception, sans que notre conscience fasse une distinction entre les données du souvenir et celles de la perception actuelle.

L'influence de l'interprétation des sensations est encore plus frappante lorsque, dans certaines circonstances, telles qu'un éclairage insuffisant, une image visuelle est d'abord incompréhensible, parce que nous ne savons à quelle distance la placer, lorsque, par exemple, nous considérons comme proche une lumière éloignée, et inversement. Subitement, nous comprenons ce dont il s'agit, et aussitôt l'influence de

cette compréhension exacte développe la notion véritable dans toute son énergie, et il nous devient impossible de revenir de cette notion à la notion inexacte qui l'a précédée.

Ce fait se présente fréquemment, par exemple pour des dessins stéréoscopiques compliqués de formes cristallines et autres, qui nous fournissent une notion parfaitement claire dès que nous avons réussi à bien comprendre de quoi il s'agit.

Ces expériences, que chacun aura probablement faites à l'occasion, nous font voir que, dans les perceptions sensuelles, les données fournies par l'expérience peuvent s'imposer avec tout autant de force que celles qui sont fournies par des sensations actuelles, et c'est là un point admis par tous les observateurs qui ont approfondi la théorie des perceptions sensuelles, même par ceux qui sont disposés à accorder à l'expérience la plus petite influence possible.

Une fois ce point reconnu, il est difficile de nier que, dans ce que l'adulte considère comme des notions sensuelles immédiates, il puisse intervenir quantité d'éléments qui proviennent, en réalité, de l'expérience, — bien qu'il soit difficile tout d'abord de tracer ici une limite.

Je crois, cependant, que ce que nous savons déjà permet d'établir ce principe : qu'aucune sensation actuelle non douteuse ne peut être négligée ni supprimée par un acte de l'entendement, mais que, tout en lui reconnaissant une origine anormale, notre intelligence de cette origine ne fait pas disparaître l'illusion des sens. Nous pouvons détourner notre attention de certaines sensations, notamment lorsqu'elles sont faibles et habituelles; mais dès que nous nous attachons aux circonstances qui s'y lient, nous sommes forcés de remarquer ces sensations. C'est ainsi que nous pouvons oublier les sensations de température de notre peau et les sensations tactiles que nous donnent nos habits, tant que nous nous occupons d'autre chose. Mais dès que nous portons notre attention sur la question de savoir s'il fait chaud ou froid, nous ne pouvons pas remplacer la sensation de la chaleur par celle du froid, quand même nous saurions que la chaleur que nous éprouvons provient d'un exercice violent et n'est pas attribuable à la température de l'air ambiant. De même l'apparition lumineuse, produite par une pression sur l'œil, ne disparaît pas lorsque nous comprenons son mode de production, tant que nous appliquons notre attention au champ visuel et non pas à l'oreille ou à la peau.

D'un autre côté, il est possible que nous ne soyons pas à même d'isoler une impression sensuelle, parce qu'elle fait partie de la représentation sensuelle complexe d'un objet extérieur, et que cependant la

notion exacte que nous acquérons de l'objet vienne prouver que la sensation a été perçue et utilisée par notre conscience.

J'en conclus que, *dans nos perceptions sensuelles, on ne peut considérer comme sensation rien de ce qui, par des motifs dus à l'expérience, peut être éliminé dans la notion que nous nous formons de l'objet et recevoir une interprétation contraire.*

Ainsi nous aurons à considérer comme provenant de l'expérience et de l'habitude, tout ce qui peut être combattu par des données de l'expérience. On verra qu'en suivant cette règle, on est amené à ne considérer comme sensations proprement dites que les qualités de la sensation, tandis que la majeure partie des notions d'espace doivent être considérées comme des résultats de l'expérience et de l'habitude.

Il ne faut pas conclure de là que les notions qui se maintiennent à l'encontre de notre réflexion, et qui subsistent à l'état d'illusions des sens, ne puissent pas néanmoins provenir de l'expérience et de l'exercice. La connaissance que nous avons des modifications que l'opacité de l'air produit dans la couleur des objets éloignés, celle que nous avons des effets de perspective et d'ombre portée, reposent indubitablement sur l'expérience, et cependant un bon tableau de paysage nous donne la sensation complète du lointain, celle des trois dimensions des édifices qui y sont représentés, bien que nous sachions que le tout est dessiné sur la toile.

De même, notre connaissance de la nature composée des sons des voyelles repose sur l'expérience, et cependant, comme je l'ai fait voir, la combinaison des sons de plusieurs diapasons nous donne la sensation auditive d'une voyelle, et nous apprécions ce son comme un tout, bien que nous sachions que, dans ce cas, il est réellement composé.

Il est nécessaire, en effet, d'expliquer ici comment l'expérience peut contredire l'expérience, et comment des éléments empruntés à l'expérience peuvent produire des illusions, bien qu'il semblerait que l'expérience ne pût nous enseigner que le vrai. Pour s'en rendre compte, il faut insister sur ce point, déjà indiqué plus haut, que nous interprétons toujours les sensations suivant la manière dont elles se présentent à nous dans le mode d'excitation normal, lors de l'usage normal des organes des sens.

En effet, dans la vie ordinaire, nous ne nous abandonnons pas passivement aux impressions que nous recevons : nous *observons*, c'est-à-dire que nous mettons nos organes dans les conditions où il leur est possible de distinguer le mieux les impressions. C'est ainsi que, dans la contemplation d'un objet compliqué, nous dirigeons successivement nos deux yeux, accommodés le plus exactement possible, de telle ma-

nière qu'ils fixent toujours simultanément le point qui attire à chaque instant notre attention; en d'autres termes, nous amenons constamment l'image de ce point à l'endroit de la vision la plus distincte, et nous promenons successivement les yeux sur tous les points remarquables de l'objet. S'il nous importe, de plus, de saisir le mieux possible la forme générale et les dimensions de l'objet, nous nous plaçons de manière que, sans mouvoir la tête, nous puissions parcourir du regard toute la surface, et qu'en outre, les dimensions que nous voulons comparer se présentent d'une manière aussi symétrique que possible. C'est ainsi que pour examiner un objet qui, comme un édifice, présente d'une manière prédominante des lignes verticales et horizontales, nous nous plaçons, presque inévitablement, de telle manière que la ligne qui joint les centres de rotation de nos yeux soit horizontale. Nous pouvons, à tout instant, contrôler cette position de nos yeux en séparant les images doubles : celles-ci sont alors sur une même horizontale.

Nous choisissons indubitablement cette manière de regarder, parce qu'elle nous fournit le moyen de comparaison et d'observation le plus exact; c'est donc pour cette manière d'employer les yeux, que nous pouvons qualifier de *normale*, que nous apprenons le mieux à comparer nos sensations avec la réalité, et, par conséquent, cette méthode nous donne les perceptions les plus justes et les plus exactes.

Si nous venons, soit par nécessité, soit avec intention, à examiner les objets d'une autre manière, — que nous appliquions la vision indirecte des parties latérales de la rétine, que nous fixions les objets d'un seul œil, que nous maintenions le regard immobile ou que nous donnions à la tête une position insolite, — nous ne sommes plus capables de nous former des notions aussi exactes qu'avec l'usage normal des yeux, et nous ne sommes plus aussi exercés dans l'interprétation de ce que nous voyons : aussi cette interprétation devient-elle plus indécise, bien qu'en général nous ne nous en rendions pas compte. Lorsque nous voyons un objet, il nous faut le localiser : nous ne pouvons pas nous le représenter de telle manière que sa position soit indéterminée dans l'espace. Lorsque aucune réminiscence ne nous vient en aide, nous interprétons ordinairement ce que nous voyons comme il faudrait le faire si nous avions reçu la même impression dans le mode d'observation normal et le plus exact. C'est ainsi qu'il se produit certaines illusions dans la perception, lorsque nous ne dirigeons pas le regard sur les objets qui nous occupent, et que ces objets sont situés dans les parties latérales du champ visuel, ou lorsque nous tenons la tête très-obliquement, ou bien encore lorsque nous ne fixons l'objet qu'avec un seul œil. De plus, les images sur les deux rétines s'accordent de la manière la plus con-

stante et la plus régulière lorsque nous examinons des objets éloignés, et la situation ordinairement horizontale du sol à la partie inférieure du champ visuel paraît exercer une influence particulière sur la comparaison des champs dans les deux yeux. C'est pour ce motif que nous ne jugeons pas exactement de la position d'objets rapprochés, lorsque nous y dirigeons le regard suivant une direction sensiblement ascendante ou descendante : nous interprétons les images rétiniennes comme si elles s'étaient formées en regardant droit devant nous, et ainsi de suite. Nous rencontrerons beaucoup d'exemples de ce genre. En effet, nous n'avons pas, pour toutes les directions des yeux, la même habitude de l'interprétation des impressions : nous sommes surtout exercés à utiliser celles qui donnent les perceptions les plus exactes et les plus concordantes, et nous appliquons à tous les cas ce que nous avons appris dans ceux-là.

Il arrive souvent qu'une impression visuelle de ce genre ne présente pas, avec une des impressions possibles de l'observation normale, une ressemblance assez prédominante et assez frappante pour exclure diverses autres comparaisons, entraînant chacune une interprétation correspondante de cette impression. Dans les cas de ce genre, l'interprétation est indécise : tantôt, sans modification des images rétiniennes, le même observateur se forme successivement des notions différentes, et, dans ce cas, l'indécision est facile à constater ; tantôt des observateurs différents penchent pour des comparaisons et des interprétations différentes. Cette circonstance a introduit, dans l'optique physiologique, de nombreuses discussions, parce que chaque observateur était porté à considérer comme seule valable la notion qu'il avait obtenue par une observation à laquelle il avait donné tous ses soins. Quand nous avons donc affaire à des observateurs qui méritent notre confiance, et dont nous n'avons lieu de suspecter ni le talent d'observation, ni la bonne foi, nous ne pouvons pas regarder comme la seule véritable l'une des interprétations contradictoires du phénomène visuel, ainsi que sont particulièrement disposés à le faire ceux qui cherchent à déduire principalement de causes innées la production de notions sur les objets. Il faut, au contraire, reconnaître comme un fait que, dans des cas de ce genre, il peut se former des notions différentes et rechercher quelles sont les circonstances qui favorisent la production de l'une ou de l'autre de ces notions.

Nous nous heurtons sans doute ici à une difficulté qui ne se présente pas dans les autres parties des sciences naturelles. Dans un grand nombre de cas de ce genre, nous sommes réduits aux assertions de chaque observateur, sans pouvoir les contrôler par notre propre

observation. Dans ce domaine, il se présente une foule de particularités, attribuables peut-être, en partie, soit à la structure des différents yeux, soit à la manière dont chacun s'est habitué à les employer, soit probablement aussi à des impressions et à des notions antérieures. Ces particularités et leurs suites ne peuvent naturellement être observées que par celui auquel elles appartiennent, et aucun autre observateur ne peut le contredire. D'un autre côté, les observations de ce genre ne sont pas aussi faciles qu'on pourrait le croire au premier abord. L'acte de fixer invariablement un point pendant un temps assez long, tandis qu'on observe à la vision indirecte, la faculté d'être maître de son attention, celle de faire abstraction de l'interprétation objective qu'on donne ordinairement à la sensation, l'évaluation des différences de couleur et de position dans le champ visuel, toutes ces choses demandent une grande pratique. Aussi un grand nombre de faits qui se rapportent à ce sujet ne peuvent-ils pas être étudiés, même par des observateurs bien exercés dans d'autres genres de recherches, tant qu'ils ne sont pas rompus aux observations d'optique physiologique. On est donc réduit, sur beaucoup de points, aux observations d'un très-petit nombre d'individus, et lorsqu'on obtient des résultats différents de ceux signalés par une autre personne, il est bien plus difficile que dans toute autre étude de décider avec certitude si l'observation en question n'a pas été influencée par des circonstances accessoires. Je ferai donc remarquer tout d'abord au lecteur que bien des choses qui lui paraîtront nouvelles dans les chapitres suivants peuvent fort bien reconnaître pour causes des particularités individuelles de mes yeux : j'ai dû me borner à observer et à décrire, avec le plus de soin possible, les faits tels qu'ils s'offrent à mes yeux, et à rechercher leur liaison. J'indiquerai partout les résultats différents que j'aurai rencontrés chez d'autres observateurs. Il appartient à l'avenir de nous apprendre, dans chaque cas, quel est le mode de vision le plus répandu.

Du reste, moins les sensations visuelles ressemblent à celles qui se présentent normalement, plus leur interprétation est, en général, incertaine, ainsi qu'on doit s'y attendre si l'on adopte la manière de voir que j'ai proposée ; c'est là un point essentiellement caractéristique en faveur de l'intervention des influences psychiques.

Comme nous ne savons pour ainsi dire rien sur la nature des activités psychiques et que nous ne connaissons qu'une série de faits, nous ne devons pas nous étonner de ne pas pouvoir donner de véritable explication de la production des perceptions sensuelles. La *théorie empiristique* cherche à démontrer que cette production n'exige du moins aucune autre force que les facultés connues de notre

âme, et cela sans se préoccuper de l'explication de ces facultés. Comme il est, en général, convenable, dans l'étude des sciences naturelles, de ne faire aucune nouvelle hypothèse aussi longtemps que les faits connus paraissent suffisants pour l'explication et que la nécessité d'hypothèses nouvelles n'est pas démontrée, j'ai cru devoir adopter, dans ses points essentiels, l'opinion empiristique. La *théorie nativistique* explique encore moins la production de nos notions des objets, avec son hypothèse d'après laquelle certaines notions de solidité se produiraient directement, à l'aide d'un mécanisme inné, lorsque certaines fibres nerveuses sont excitées. Dans la forme primitive de cette théorie, le sujet est censé observer sa rétine : on lui attribue une connaissance innée de la forme de cette membrane et de la position qu'y occupent les différentes extrémités nerveuses. D'après la forme la plus récente de cette opinion, qui a été défendue en particulier par E. Hering, il faudrait admettre au-devant de nous un espace subjectif, dans lequel nous localiserions, d'après certaines lois innées, les sensations des différentes fibres rétiniennes. Cette théorie ne se borne donc pas à admettre l'opinion de Kant, d'après laquelle la notion générale de l'espace serait une forme originelle de notre conscience; elle considère, de plus, comme innées, certaines notions spéciales de l'espace.

L'opinion nativistique a aussi été nommée plus spécialement *théorie des points identiques*, parce qu'elle exige qu'on admette une fusion complète des impressions des parties correspondantes dans les deux rétines. La *théorie empiristique*, au contraire, porte le nom de *théorie des projections*, parce que, d'après elle, les représentations que nous nous faisons des objets sont projetées dans l'espace par des actions psychiques. Je préférerais éviter cette dénomination, parce que des adversaires, aussi bien que des partisans de cette théorie, ont attaché une importance exagérée à vouloir que cette projection se fît suivant les lignes de direction, ce qui, en tous cas, n'était pas la désignation exacte du processus psychique, et ne donnerait même pas, dans un très-grand nombre de cas, une détermination exacte de la position apparente des objets.

Je reconnais que, dans l'état actuel de la science, il est impossible de réfuter la théorie nativistique; pour ma part, je préfère l'opinion contraire :

1° Parce que la théorie nativistique me paraît introduire une hypothèse inutile;

2° Parce que ses résultats donnent toujours encore des notions d'espace qui, comme nous le verrons en détail plus loin, ne s'accordent que rarement avec la réalité et avec les représentations visuelles, incontestablement exactes, que nous en recevons. Aussi les partisans de cette théorie sont-ils obligés d'admettre à contre-cœur que leurs *sensations d'espace* originelles peuvent être améliorées ou surmontées continuellement par les connaissances que nous fournit l'expérience. Or, d'après l'analogie avec toutes les autres expériences, nous devrions nous attendre à voir subsister la notion de ces sensations surmontées, ne fût-ce qu'à l'état d'illusions reconnues, et c'est ce qui n'a pas lieu;

3° On ne voit pas comment l'hypothèse de ces *sensations d'espace* originelles peut contribuer à expliquer nos perceptions visuelles, si les partisans de cette théorie sont obligés d'admettre, pour la grande majorité des cas, que ces sensations doivent être surmontées par une connaissance plus approfondie, acquise par

l'expérience. S'il faut en arriver là, il me paraît bien plus simple et plus facile d'admettre que toutes les notions d'espace nous sont fournies par l'expérience seule, sans que celle-ci ait à combattre des notions innées, fausses dans la plupart des cas.

Voilà pour justifier mon point de vue. Comme il fallait en choisir un pour mettre quelque ordre dans le chaos des phénomènes, je me suis arrêté à celui qui me paraissait préférable ; j'espère cependant que ce choix n'aura exercé aucune influence sur l'observation consciencieuse et sur la description des faits.

Je vais encore donner quelques explications pour éviter tout malentendu au sujet de mon point de vue, et pour le rendre plus facilement accessible à ceux des lecteurs qui n'ont pas encore réfléchi sur leurs perceptions sensuelles.

Je n'ai désigné, plus haut, les sensations que comme des *symboles* des circonstances extérieures, et je leur ai refusé toute analogie avec les choses qu'elles représentent. Nous touchons ici à cette question, si controversée, de savoir jusqu'à quel point les représentations que nous faisons s'accordent avec les objets, de savoir, comme on disait, si elles sont *vraies* ou *fausses*. Cet accord a été tantôt affirmé et tantôt nié. A cet effet, on a admis une *harmonie préétablie* entre la nature et l'esprit, ou bien, on a soutenu l'*identité* de la nature et de l'esprit, en considérant la nature comme un produit de l'action d'un esprit général, dont l'esprit humain serait une émanation. La *théorie nativistique* des notions d'espace se rattache à ces opinions, en ce sens qu'elle admet un mécanisme inné et une certaine harmonie préexistante des notions qui, quoique d'une manière assez incomplète, devraient répondre aux faits réels.

D'autres ont nié la conformité des objets avec les idées que nous nous en formons ; ils ont considéré, par suite, ces représentations comme des illusions ; système qui, poussé à ses dernières conséquences, amènerait à nier la possibilité de connaître un objet quelconque : on a compris qu'il s'agit ici des sensualistes anglais du siècle dernier. Je ne développerai pas ici les opinions des différentes écoles philosophiques sur cette question, ce qui nous mènerait beaucoup trop loin : je me bornerai à indiquer quel est, à mon avis, le terrain sur lequel doit se maintenir la méthode scientifique, en présence de ces discussions.

Nos notions et nos représentations sont des *effets* que les objets que nous voyons, ou que nous nous figurons, exercent sur notre système nerveux et sur notre conscience. Tout effet dépend nécessairement aussi bien de la nature de l'objet agissant que de celle de l'objet sur lequel il a agi. Demander à une représentation de reproduire exactement la nature de l'objet, lui demander, par conséquent, d'être vraie d'une manière absolue, c'est vouloir un effet qui soit complétement indépendant de la nature de l'objet sur lequel il serait exercé, ce qui est une contradiction manifeste. Ainsi toutes les représentations que nous faisons, toutes celles que puisse avoir un être intelligent quel qu'il soit, sont des images dont la nature dépend essentiellement de celle de l'intelligence qui se les figure, et qui sont influencées par les particularités de cette intelligence.

Je crois donc que cela ne présente absolument aucun sens, de parler d'une vérité de nos représentations autre qu'une vérité *pratique*. Les représentations que

nous formons des choses *ne peuvent* être que des symboles, des signes naturels des objets, dont nous apprenons à nous servir pour régler nos mouvements et nos actions. Lorsque nous avons appris à déchiffrer correctement ces symboles nous sommes à même, avec leur aide, de diriger nos actions de façon à produire le résultat désiré, c'est-à-dire à faire naître les sensations nouvelles que nous attendons. Non-seulement il n'existe en *réalité* aucune autre comparaison entre les représentations et les objets, — toutes les écoles sont d'accord sur ce point, — mais encore on ne peut se figurer aucun autre genre de relation : cela ne présenterait absolument aucun sens. C'est là le point qui nous importe et qu'il faut comprendre pour se débrouiller dans le labyrinthe des opinions contradictoires. Demander si l'idée que je me fais d'une table, de sa forme, de sa consistance, de sa couleur, de son poids, etc., est vraie en elle-même, indépendamment de l'usage pratique que je puis en faire, si elle est conforme à l'objet réel, ou bien si elle est fausse et produite par une illusion, c'est faire une question qui ne présente pas plus de sens que de demander si un certain son est rouge, jaune ou blanc. L'idée et l'objet qu'elle représente sont deux choses qui appartiennent évidemment à deux mondes tout à fait différents et qui sont aussi peu susceptibles de comparaison que les couleurs et les sons, ou que les caractères d'un livre et le son du mot qu'ils représentent.

S'il existait quelque analogie de conformité entre l'idée qui existe dans la tête d'un homme A et l'objet dont elle est la représentation, une seconde intelligence B, qui se représenterait, d'après les mêmes lois, l'objet et la représentation qui s'en forme dans la tête de A, pourrait trouver ou au moins concevoir quelque analogie entre les deux choses. Car la même chose, représentée de la même manière, devrait produire des représentations pareilles. Mais, je le demande, quelle analogie peut-on se figurer entre le processus cérébral qui accompagne l'idée d'une table et cette table elle-même ? Doit-on se figurer la forme de la table reproduite dans le cerveau par des courants électriques, et si l'observateur conçoit qu'il fait le tour de la table, doit-on se figurer de plus la forme d'un homme dessinée à l'aide de courants électriques ? Les projections perspectives des objets extérieurs, telles qu'on a voulu les admettre dans les hémisphères cérébraux, ne suffisent évidemment pas pour nous donner l'idée d'objets à trois dimensions. Et en admettant même qu'une imagination fantastique ne reculât pas devant une semblable hypothèse, cette image électrique de la table qui se formerait dans le cerveau ne serait encore elle-même qu'un second objet corporel qu'il resterait à percevoir : ce ne serait pas une représentation intellectuelle de la table. Cependant ce ne sont pas les matérialistes, mais plutôt les spiritualistes qui seront probablement choqués de ma manière de voir, bien que ces derniers, ce me semble, doivent plutôt me donner raison. En effet, quel rapport peut-il y avoir entre l'idée, modification de l'âme immatérielle et sans dimensions, et la table, objet matériel et limité dans l'espace? Les philosophes spiritualistes n'ont jamais essayé, que je sache, aucune hypothèse ni aucune imagination pour expliquer ce rapport, et il est évidemment dans la nature de leur point de vue de leur interdire tout essai de ce genre.

Pour ce qui concerne d'abord les *propriétés* des objets extérieurs, il suffit d'un

peu de réflexion pour voir que toutes les propriétés que nous pouvons leur attribuer désignent seulement les *actions* qu'ils exercent soit sur nos sens, soit sur d'autres objets de la nature. La couleur, le son, le goût, l'odeur, la température, le poli, la consistance appartiennent à la première classe : elles désignent des effets produits sur les organes de nos sens. Le poli et la consistance désignent le degré de résistance que les corps opposent au glissement ou à la pression de la main. Mais la main peut être remplacée par d'autres corps ; il en est de même pour l'examen des autres propriétés mécaniques, comme l'élasticité et le poids. Les propriétés chimiques se rapportent également à des réactions, c'est-à-dire à des actions que le corps examiné exerce sur d'autres corps. Il en est de même des autres propriétés physiques des corps : propriétés optiques, électriques, magnétiques. Il s'agit toujours de relations et d'actions réciproques qui dépendent des forces que les corps manifestent les uns à l'endroit des autres. Car toutes les forces de la nature sont des actions exercées par un corps sur un autre. Si nous nous figurons la matière dépourvue de force, elle est aussi sans propriétés autres que la position dans l'espace et le mouvement. Aussi les propriétés des corps ne se manifestent-elles que lorsque nous les mettons en rapport avec d'autres corps ou avec les organes de nos sens. Mais comme ce rapport peut se produire à tout instant et être occasionné à chaque instant par notre volonté, comme nous voyons toujours alors se produire des actions mutuelles, nous attribuons aux objets une faculté d'action continuelle, toujours prête à agir : c'est à cette faculté continuelle que nous donnons le nom de *propriété*.

Il résulte de là qu'en réalité, malgré leur nom, les *propriétés* des corps ne désignent absolument rien de propre à chaque corps en lui-même, mais bien par rapport à un autre objet, y compris les organes de nos sens. Naturellement, le mode d'action doit toujours dépendre des propriétés du corps agissant aussi bien que de celles du corps qui subit l'action : c'est un point dont nous ne doutons pas un instant lorsqu'il s'agit des propriétés que présentent les corps en agissant les uns sur les autres, dans les réactions chimiques, par exemple. Mais lorsqu'il s'agit des propriétés qui reposent sur les rapports de modification qui existent entre les objets et nos organes des sens, on a toujours eu de la tendance à oublier qu'il s'agit encore d'une réaction sur un réactif particulier à savoir notre appareil nerveux, et que la couleur, l'odeur et le goût, la sensation de chaud et de froid sont également des actions qui dépendent tout à fait essentiellement de la nature de l'organe qui les subit. Les réactions des corps sur les sens sont assurément celles que l'on perçoit le plus fréquemment et le plus généralement, elles ont la plus grande importance pour notre bien-être et pour notre commodité ; mais si le réactif au moyen duquel nous les éprouvons a été mis en nous par la nature, la relation n'en est pas moins la même.

C'est donc une question qui ne présente absolument aucun sens que de demander si le cinabre est réellement rouge, tel que nous le voyons, ou si c'est seulement là une illusion des sens : la sensation du rouge est la réaction normale des yeux normaux, pour la lumière réfléchie par le cinabre. Un individu atteint d'anérythropsie verra le cinabre noir ou d'un jaune-gris foncé ; c'est également la réaction exacte pour son œil, mais il a besoin de savoir que son œil est autrement conformé

que ceux des autres. En elle-même, l'une de ces sensations n'est ni plus vraie ni plus fausse que l'autre, bien que ceux qui déclarent le cinabre rouge aient pour eux une grande majorité ; la couleur rouge du cinabre n'existe qu'en tant qu'il existe des yeux conformés comme ceux de la majorité des hommes, et c'est à tout aussi juste titre que le cinabre possède la propriété d'être noir, relativement aux individus atteints d'anérythropsie. Lorsque nous parlons des propriétés que présente un corps par rapport aux autres corps du monde extérieur, nous n'oublions jamais de spécifier aussi relativement à quel corps cette propriété existe chez lui. C'est ainsi que nous disons : « Le plomb est soluble dans l'acide azotique et ne l'est pas dans l'acide sulfurique ». Si l'on nous disait simplement : « le plomb est soluble », nous remarquerions aussitôt que c'est là une assertion incomplète, et nous demanderions dans quoi le plomb est soluble. Mais quand on dit : « le cinabre est rouge », on comprend implicitement qu'il est rouge pour notre œil et pour ceux d'autres hommes que nous supposons conformés comme les nôtres ; nous pensons qu'il est inutile de faire cette mention, et cette omission constante du langage peut contribuer à nous faire croire que le rouge soit une propriété qui appartienne au cinabre, ou à la lumière que réfléchit ce corps, et indépendante de nos organes sensuels. C'est tout autre chose quand nous disons que les ondes de la lumière refléchie par le cinabre ont une certaine longueur : c'est là une assertion que nous pouvons faire indépendamment de la nature particulière de notre œil, mais qui n'exprime que des relations entre la substance lumineuse et les différents systèmes d'ondulations de l'éther.

Le seul rapport sous lequel notre perception puisse être véritablement conforme à la réalité est la suite des temps où se passent les faits avec leurs différentes particularités. La simultanéité, la succession, le retour périodique de la simultanéité ou de la succession peuvent se présenter aussi bien pour nos sensations que pour les faits. Les faits extérieurs, comme les perceptions, se succèdent dans le temps ; par conséquent les conditions de temps des dernières peuvent représenter fidèlement celle des premières. La sensation du tonnerre dans l'oreille succède à celle de l'éclair dans l'œil, comme le mouvement sonore de l'air, produit par la décharge électrique, arrive à l'observateur plus tard que l'ébranlement de l'éther lumineux. Cependant il faut remarquer que la suite des sensations ne représente pas tout à fait fidèlement la suite des phénomènes extérieurs, en ce sens que la transmission de la sensation au cerveau exige du temps et que ce temps est différent pour les différents organes. Il faut encore ajouter, pour l'œil et pour l'oreille, le temps que mettent la lumière et le son pour arriver à l'organe : c'est ainsi que nous voyons actuellement les différentes étoiles fixes telles qu'elles étaient il y a nombre d'années, et à une époque différente pour chacune.

En ce qui concerne la représentation des conditions d'espace, elle se fait, à un certain degré, dans les extrémités périphériques des nerfs, dans l'œil et dans la peau, mais ce n'est que d'une manière restreinte, puisque l'œil ne donne que des images perspectives des surfaces, et que la main nous représente la surface objective par la surface de notre corps qui peut le mieux s'y adapter. Mais ni l'œil ni la main ne donnent immédiatement une image étendue suivant les trois dimensions de l'espace. La représentation des corps ne se produit que par la comparaison

des images reçues dans les deux yeux, ou par un déplacement du corps ou de la main de l'observateur. Comme notre cerveau a trois dimensions, l'imagination a beau jeu pour se figurer le mécanisme à l'aide duquel ce centre nerveux peut recevoir des images à trois dimensions des objets corporels extérieurs, mais je ne vois ni la nécessité ni la probabilité d'une semblable hypothèse. La représentation d'un corps à trois dimensions, comme une table, contient une foule d'observations particulières; elle comprend toute la série des images que me présenterait cette table, si je l'examinais à partir des points de vue les plus différents; elle comprend, de plus, toutes les impressions tactiles que j'éprouverais en plaçant mes mains successivement sur toutes les parties de sa surface. Une semblable représentation d'un corps est donc déjà une *idée*, qui renferme un nombre indéfini de perceptions différentes qui se succèdent dans le temps et qui peuvent toutes en être déduites, de même que l'idée générale de « table » contient en elle toutes les tables et en exprime les propriétés communes. La représentation que j'ai d'une certaine table est juste et précise si je puis en déduire, avec exactitude et précision, les sensations que j'éprouverais en amenant mon œil ou ma main dans telle ou telle position déterminée par rapport à la table. Je ne puis concevoir aucun autre genre d'analogie entre une pareille idée et l'objet qu'elle représente. La première est le signe spirituel du second. Je n'ai pas choisi arbitrairement la nature de ce signe, c'est la nature de mes organes sensuels et de mon esprit qui me l'a imposée. — C'est par là que les signes qui expriment nos notions se distinguent de ceux que nous avons choisis arbitrairement pour la parole et pour l'écriture. Une écriture est exacte quand elle fournit des représentations exactes à celui qui sait la lire, et la représentation d'un objet est exacte quand elle nous permet de déterminer d'avance les impressions sensuelles que nous recevrons de cet objet en nous mettant en rapport avec lui sous des conditions déterminées. La nature de ces signes mentaux importe peu, d'ailleurs, pourvu qu'ils forment un système qui présente une variété et un ordre suffisants; de même que les sons des mots d'une langue sont indifférents, pourvu qu'on en ait un nombre suffisant et qu'on possède assez de moyens de désigner leurs rapports grammaticaux.

Cette manière d'envisager la question ne doit pas nous faire supposer que toutes nos idées sur les objets soient *fausses*, parce qu'elles ne sont pas *semblables* à ces objets, et il faut se garder d'en conclure que nous ne pouvons rien savoir de la nature *véritable* des choses. Il est dans la nature de la conscience que les idées ne peuvent pas être *semblables* aux objets. Les représentations ne doivent être que des images des choses, et une image ne représente un objet que pour celui qui sait la déchiffrer et qui, à l'aide de l'image, peut se former une idée de la chose. Toute image ressemble à son objet sous un rapport et en diffère sous tous les autres, que cette image soit un tableau, une statue, la représentation musicale ou dramatique d'un sentiment, etc. C'est ainsi que nos représentations du monde extérieur sont des images de la succession régulière des événements naturels, et si elles sont formées régulièrement suivant les lois de notre pensée, si, par nos actions, nous pouvons les reporter exactement dans la réalité, ces représentations sont aussi les *seules vraies* pour notre entendement; toutes les autres seraient fausses.

Je crois donc que c'est un malentendu que de vouloir chercher une harmonie préexistante entre les lois de la pensée et celles de la nature, en admettant, sous un nom quelconque, une identité entre la nature et l'esprit. Un système de signes peut être plus ou moins complet et approprié à son but : il en devient plus ou moins facile à appliquer, et les désignations qu'il fournit sont plus ou moins précises, — les différentes langues nous en fournissent un exemple ; — cependant chacun permet, dans une certaine mesure, d'atteindre le but proposé. S'il n'existait pas un grand nombre d'objets semblables, notre faculté de former des notions d'espèce ne nous serait d'aucune utilité ; s'il n'y avait pas de corps solides, nos facultés géométriques resteraient sans développement et sans usage, de même que l'œil ne nous servirait à rien dans un monde où il n'y aurait pas de lumière. Si c'est dans ce sens que l'on parle d'un accord entre les lois de notre pensée et celles de la nature, nous pouvons l'admettre ; mais il est évident que cet accord n'a besoin d'être ni complet, ni exact. L'œil est un organe qui nous rend d'excellents services dans l'observation du monde extérieur, bien qu'il ne puisse ni voir nettement à toutes les distances, ni percevoir toutes les espèces de vibrations de l'éther, ni réunir exactement en un point les rayons émis par un même point. Nos activités intellectuelles sont liées à celle d'un organe corporel, le cerveau, comme la faculté visuelle est dépendante de l'œil. L'intelligence humaine se rend maîtresse de bien des choses, et renoue merveilleusement la chaîne des effets et des causes : est-elle nécessairement susceptible d'embrasser tout ce qui peut exister et survenir dans le monde ? C'est là ce que rien ne me parait prouver.

Nous avons encore à parler de la manière dont nos représentations et nos perceptions se forment par des conclusions inductives. — C'est dans la logique de Stuart Mill que la nature de nos conclusions me paraît le mieux analysée. Dès que la majeure du syllogisme n'est pas un principe imposé à notre foi par une autorité étrangère, dès que c'est une proposition qui se rapporte à la réalité, — et ne peut être, par conséquent, que le résultat de l'expérience, — la conclusion ne nous apprend rien de nouveau, rien que nous n'ayons pas su avant de la faire. Prenons un exemple :

Majeure : Tous les hommes sont mortels.
Mineure : Caius est un homme.
Conclusion : Caius est mortel.

Nous n'avons pas, à proprement parler, le droit de poser la majeure que tous les hommes sont mortels, proposition fournie par l'expérience, tant que nous ne sommes pas certains de la justesse de la conclusion, tant que nous ne sommes pas sûrs que Caius, qui est un homme, est mort ou mourra. Nous avons donc besoin d'être sûrs de la conclusion avant de pouvoir poser la majeure à l'aide de laquelle nous voulons la démontrer. Il semble donc que nous tournions dans un cercle vicieux. — Voici quel est évidemment le fond de notre raisonnement : On a toujours observé jusqu'ici, sans exception, qu'aucun homme n'a vécu au delà d'un certain âge. Par suite, on a réuni, dans cette proposition générale : que *tous* les hommes sont mortels, l'expérience que Lucius, Flavius, et tous les autres dont on

a connu le sort, sont morts; comme cette terminaison s'est présentée dans tous les cas qui ont été observés, on s'est cru en droit d'étendre la validité de cette proposition générale à tous les cas qui devraient être observés plus tard ; c'est ainsi que, sous la forme de la proposition générale qui sert de majeure au syllogisme dont nous venons de parler, nous conservons dans notre mémoire l'ensemble des expériences qui ont été acquises jusqu'ici, à ce sujet, par nous ou par d'autres observateurs.

Il est évident que, sans passer sciemment par la proposition générale, nous aurions également pu arriver immédiatement à la conviction que Caius mourra : il nous aurait suffi, à cet effet, de comparer ce cas à d'autres qui nous sont connus, et c'est même le procédé que nous suivons le plus ordinairement et le plus naturellement dans nos inductions. Les raisonnements de ce genre se font sans réflexion consciente, et c'est spontanément que notre mémoire réunit les points de ressemblance des faits observés antérieurement; il est facile de s'en assurer dans les cas de conclusions inductives où nous ne pouvons point parvenir à formuler, avec les expériences acquises, une loi sans exception, dont la validité ait des limites bien définies : et c'est ce qui a lieu pour tous les phénomènes ou les actes un peu complexes. Ainsi, nous pouvons souvent prédire avec certitude, par analogie avec des cas antérieurs semblables, le parti que prendra, dans des circonstances données, un individu que nous connaissons : ce qui nous guide, c'est la connaissance de son caractère : nous savons, par exemple, s'il est vaniteux ou lâche, sans être en état de mesurer exactement à quel degré s'étend sa vanité ou sa lâcheté, et sans être capables de dire pourquoi la lâcheté et la vanité de cet homme devront se combiner précisément de façon à le faire agir dans le sens que nous présumons.

Ainsi dans ceux des raisonnements proprement dits et conscients qui ne s'appuient pas sur des axiomes, mais sur des propositions établies par l'expérience, nous ne faisons, en réalité, que répéter avec attention et avec discernement les actes de généralisation inductive de nos expériences, qui ont déjà été faits plus rapidement et sans réflexion consciente par nous-mêmes ou par d'autres observateurs auxquels nous accordons notre confiance. Bien que l'expression de nos expériences antérieures sous forme de proposition générale n'ajoute rien d'essentiellement nouveau à nos connaissances, elle n'en est pas moins utile sous bien des rapports. Nous gardons bien plus facilement dans la mémoire, et nous pouvons mieux communiquer aux autres, une proposition générale exprimée sous une forme déterminée que nous ne le ferions pour chacun des faits particuliers qu'elle contient, pris successivement. En présence de cette proposition, nous sommes amenés à vérifier chaque fait nouveau au point de vue de l'exactitude de la généralisation, et les exceptions s'imposent bien plus nécessairement à notre attention; lorsque nous sommes en présence de la proposition exprimée sous sa forme générale, les exceptions à la règle nous frappent bien plus que s'il nous fallait nous reporter successivement à tous les cas en particulier. Cette manière de donner une forme définie aux conclusions inductives ajoute donc beaucoup à la commodité et à la sûreté de notre manière de procéder; mais, en réalité, nous n'apprenons par là rien qui ne soit déjà établi dans les conclusions inductives que nous avons obtenues sans réflexion, et au moyen desquelles nous jugeons, par exemple, le carac-

tère d'un homme d'après les traits de son visage et la nature de ses mouvements, ou qui nous permettent de prévoir, d'après son caractère, ce qu'il fera dans une circonstance donnée.

Il en est exactement de même pour nos perceptions sensuelles. — Lorsque nous avons senti une excitation dans les appareils nerveux dont les extrémités périphériques se trouvent du côté droit des deux rétines, nous avons appris, par une expérience répétée de tous les instants, qu'il y avait à notre gauche un corps lumineux. Nous avons constaté qu'il nous a fallu porter la main à gauche pour cacher cette lumière ou pour saisir l'objet lumineux, que nous avons dû nous transporter vers notre gauche pour nous en rapprocher. Si donc, dans les cas de ce genre, nous ne faisons pas de raisonnements conscients, nous n'en avons pas moins exécuté le travail essentiel et primitif d'un raisonnement, et nous en avons obtenu la conclusion, bien que ce travail n'ait été fait, sans doute, que par les procédés inconscients de l'association des idées, qui résident dans les parties inexplorées de notre mémoire. Aussi ces résultats s'imposent-ils à notre conscience comme produits, pour ainsi dire, par une puissance extérieure qui nous domine et sur laquelle notre volonté n'a aucune action.

A ces conclusions inductives, qui servent à la formation de nos perceptions visuelles, manque assurément le travail de vérification et de rectification de la pensée consciente; cependant je crois pouvoir les considérer, dans leur essence, comme des *conclusions*, comme des résultats de *raisonnements inductifs* accomplis à notre insu.

Pour les admettre dans la pensée consciente et pour les formuler suivant les règles des conclusions logiques, nous sommes arrêtés par cette circonstance, qui leur est tout à fait particulière, que nous ne pouvons pas indiquer nettement ce qui s'est passé en nous lorsque nous avons éprouvé une sensation dans une fibre nerveuse, ni ce qui distingue cette sensation déterminée d'avec les sensations analogues ressenties dans les autres fibres nerveuses. C'est ainsi que, lorsque nous avons éprouvé une sensation lumineuse dans certaines fibres de l'appareil nerveux visuel, nous savons seulement que nous venons d'éprouver une sensation particulière, qui se distingue de toutes les autres sensations et même des autres sensations visuelles, et en présence de laquelle nous avons toujours rencontré un objet lumineux à gauche. Dans notre état naturel, et avant d'avoir étudié la physiologie, nous ne parlerions pas autrement de nos sensations, et, dans notre esprit, nous ne pouvons déterminer et définir autrement la sensation qu'en désignant les conditions sous lesquelles elle s'est produite. Il me faut dire : « Je vois quelque chose de clair vers la gauche »; c'est la seule expression que je puisse donner de cette sensation. C'est seulement plus tard, par l'investigation scientifique, que nous apprenons que nous avons des nerfs, que ces nerfs ont été excités et que l'excitation a porté sur ceux qui aboutissent au côté droit de la rétine : ce n'est qu'alors que nous sommes en mesure de définir l'espèce de la sensation indépendamment des circonstances qui lui donnent ordinairement naissance.

Il en est de même pour la plupart des sensations. Le plus souvent, sauf quelques désignations un peu vagues (doux, acide, amer, brûlant, etc.), nous ne savons définir les sensations de goût et d'odeur, même d'après leur qualité, qu'en nom-

mant les corps qui présentent le goût ou l'odeur que nous voulons désigner.

Ainsi, dans l'état ordinaire de notre conscience, nous ne pouvons même pas donner la forme de jugements conscients à ces jugements par lesquels nous passons de nos sensations à l'existence d'une cause extérieure. Une personne qui ne connaît pas la structure interne de l'œil ne dira pas qu'elle reconnaît à sa gauche la présence d'un objet éclairé parce que les fibres nerveuses qui se terminent à droite dans la rétine se trouvent dans un état d'excitation, elle peut dire seulement : « Il existe à gauche quelque chose de clair, parce que je l'y vois. » De même, au point de vue de l'expérience journalière, cette circonstance qu'une pression sur la partie droite de l'œil excite les fibres nerveuses qui s'y terminent, ne peut pas s'exprimer autrement qu'en disant : « Lorsque je presse mon œil à droite, je vois une lueur à gauche. » Il n'existe aucun autre moyen de décrire la sensation et de l'identifier avec d'autres sensations antérieures que de désigner la position des objets extérieurs qui paraissent y répondre. Aussi ces faits d'expérience ont-ils ceci de particulier que nous ne pouvons même pas exprimer le rapport de la sensation à un objet extérieur sans préjuger déjà ce rapport dans la désignation de la sensation, c'est-à-dire sans admettre d'avance ce dont nous voulons parler.

Si, lorsque nous avons appris à connaître l'origine physiologique et la connexion des illusions des sens, nous ne pouvons cependant pas nous défaire de ces illusions, c'est que l'induction est produite par un acte inconscient et involontaire de la mémoire, et qu'elle se présente par conséquent à notre entendement comme une force naturelle étrangère et irrésistible. Nous trouvons, du reste, des actions analogues fort nombreuses à la base des autres espèces d'*apparences*. J'inclinerais à dire que toute apparence provient d'inductions précipitées et irréfléchies, qui nous font conclure des faits antérieurs aux faits actuels et où nous penchons vers les fausses conclusions, malgré la connaissance plus exacte que nous donne la réflexion consciente. Tous les soirs, le soleil paraît descendre derrière l'horizon immobile, bien que nous sachions fort bien que c'est le soleil qui reste immobile et l'horizon qui se déplace. Un acteur qui représente habilement un vieillard est pour nous un vieillard sur la scène, tant que nous laissons libre cours à l'impression immédiate, sans faire un effort pour nous souvenir que nous savons, par l'affiche, avoir affaire à un jeune acteur bien connu. Nous assistons à sa colère ou à sa souffrance, suivant l'expression qu'il donne à sa physionomie et à ses gestes ; il réveille en nous la terreur ou la pitié ; nous tremblons à l'approche du moment où il va commettre une action terrible, et la conviction motivée que tout cela n'est qu'apparence et comédie ne peut servir de frein à nos émotions, tant que l'acteur ne sort pas de son rôle. Bien plus, une pareille histoire mensongère, qui paraît se passer en notre présence, nous touche et nous agite beaucoup plus que ne ferait une histoire analogue, mais véritable, dont nous lirions un compte rendu sec et authentique.

Cependant, les expériences d'après lesquelles nous savons que certaines expressions du geste, de la voix et de la physionomie, décèlent une colère violente, celles que nous avons, en général, sur les signes extérieurs des sentiments et des caractères que l'auteur peut nous présenter, sont bien moins nombreuses et bien

moins régulièrement répétées que des expériences d'après lesquelles nous avons appris que certaines sensations répondent à certains objets extérieurs. Il ne faut donc pas nous étonner si la représentation de l'objet qui répond ordinairement à une sensation ne disparaît jamais, même dans les cas particuliers où nous savons que nous ne sommes pas en présence de cet objet.

Enfin, les vérifications que nous obtenons à l'aide de mouvements volontaires de notre corps, sont de la plus grande importance pour la solidité de notre conviction sur l'exactitude de notre perception sensuelle. Comparée à celle que donnent les observations purement passives, la conviction que nous obtenons ainsi gagne en solidité, de même que, dans les recherches scientifiques, la vérification expérimentale ajoute à la force de notre conviction. La base fondamentale qui nous donne une conviction complète dans les résultats de toutes les inductions que nous faisons d'une manière consciente, c'est la relation de cause à effet, que nous nommerons *loi causale*. Lorsque nous avons vu très-souvent se présenter ensemble deux phénomènes de la nature, comme le tonnerre qui suit l'éclair, ils nous paraissent être liés nécessairement l'un à l'autre, et nous concluons qu'ils ont une cause commune ; et si ce lien causal a toujours eu pour effet de faire apparaître simultanément le tonnerre et l'éclair, nous admettons que les mêmes causes devant continuer à produire les mêmes effets, le résultat sera toujours le même dans la suite. Tant que notre observation porte sur des phénomènes qui se produisent sans notre participation, sans que nous puissions, par des expériences, modifier la complexité des causes, nous arrivons difficilement à la conviction d'avoir déjà trouvé toutes les conditions qui peuvent influer sur les résultats. Il faut que la diversité des cas auxquels s'applique la loi soit immense et que la loi permette de prévoir les résultats avec une exactitude extrême pour que nous puissions nous déclarer satisfaits, dans un cas de pure observation. C'est le cas qui se présente pour les mouvements du système planétaire. Sans doute, nous ne pouvons pas expérimenter sur les planètes, mais la théorie de la gravitation universelle, établie par Newton, donne une explication si complète et si exacte des mouvements apparents de ces corps sur la voûte céleste, mouvements relativement compliqués, que nous n'hésitons pas à considérer cette théorie comme suffisamment démontrée. Et cependant les expériences de Reich sur l'attraction des balles de plomb, celles de Foucault sur la déviation produite sur le pendule par la rotation de la terre, celle de Fizeau et Foucault sur la mensuration de la vitesse de la lumière à la surface de la terre, sont de la plus grande valeur pour fortifier notre conviction par la voie expérimentale.

Il n'existe peut-être aucun fait de simple observation dont l'exactitude soit démontrée d'une manière aussi absolue que la proposition générale, prise plus haut pour exemple, d'après laquelle tous les hommes meurent avant d'avoir dépassé un certain âge. Entre bien des millions d'hommes, il ne s'est pas présenté une seule exception. Nous pouvons admettre que si cela avait eu lieu nous en aurions eu connaissance. Parmi ceux qui sont morts il en est qui ont existé dans les climats les plus différents, qui ont vécu avec les régimes les plus divers. Cependant on ne peut pas dire que cette proposition, que tous les hommes sont mortels, ait le même

degré de certitude qu'une proposition quelconque de physique dont les conséquences ont été comparées aux faits avec les modifications expérimentales les plus diverses. Relativement à la mortalité des hommes, je ne connais pas le lien causal. Je ne saurais indiquer les causes qui amènent infailliblement la faiblesse sénile, toutes les fois que la vie n'a pas été terminée plus tôt par quelque influence extérieure plus saisissable. Je n'ai pas pu constater expérimentalement que la faiblesse sénile arrive nécessairement si je fais agir ces causes, et qu'elle ne se présente pas lorsque j'élimine les causes de sa production. A quelqu'un qui prétend que l'usage de certains moyens peut prolonger la vie d'une manière indéfinie, je puis bien opposer l'incrédulité la plus extrême, mais je ne puis pas le contredire absolument, si je ne sais pas que des individus soient morts, bien qu'ils aient vécu dans les conditions qu'il indique. Mais si je prétends, au contraire, que tout mercure liquide se dilate sous l'action de la chaleur, lorsqu'il n'y a pas d'obstacle, je sais que toutes les fois que j'ai observé la réunion d'une température élevée et de la dilatation du mercure, ce fait ne provenait pas d'une troisième cause commune inconnue, comme on pourrait le supposer dans un cas de simple observation; mais je sais, par l'expérience, que la chaleur a suffi, à elle seule, pour produire la dilatation. J'ai souvent chauffé du mercure, et à des époques différentes; j'ai choisi, d'après ma propre volonté, les instants où je voulais commencer l'expérience. Si donc le mercure se dilatait, cette dilatation devait provenir des conditions que j'avais établies par mon expérience; je sais donc que la chaleur est une cause suffisante pour produire la dilatation, qu'il n'a fallu aucune autre influence cachée pour l'obtenir. Ainsi un nombre, relativement restreint, d'expériences bien faites, me donne plus de certitude pour établir les conditions causales d'un phénomène que ne feraient des observations innombrables dans lesquelles je n'aurais pas pu modifier à volonté les conditions. C'est ainsi que si je n'avais vu la dilatation du mercure que dans un thermomètre inaccessible et situé dans un endroit où l'air restât saturé d'humidité à toutes les températures, j'aurais eu à me demander si c'est la température ou l'humidité qui fait dilater le mercure. La certitude n'a pu être acquise qu'en essayant si le volume du mercure se modifie en faisant varier isolément la température ou l'humidité.

Cette grande importance de l'expérience pour la certitude de nos convictions scientifiques existe aussi pour les inductions inconscientes de nos perceptions sensuelles. Ce n'est qu'en mettant volontairement nos organes sensuels dans différents rapports avec les objets, que nous apprenons à apprécier avec certitude les causes de nos sensations; et depuis notre première enfance, nous ne cessons pas, pendant toute notre vie, d'expérimenter de cette manière.

Si les objets ne faisaient que passer devant nos yeux, sous l'action d'une force étrangère et sans que nous puissions rien y faire, nous n'aurions peut-être jamais pu nous reconnaître dans une semblable phantasmagorie, de même qu'on ne pouvait pas expliquer les mouvements apparents des planètes sur la voûte céleste, avant de savoir leur appliquer scientifiquement les lois de la perspective. Mais si nous remarquons que, pour obtenir différentes images d'une table, il nous suffit de nous déplacer; qu'en choisissant convenablement notre position, nous pouvons en obtenir à volonté, et au moment que nous voulons, tantôt le premier, tantôt

le second aspect ; que la table peut disparaître pour nos sens, mais qu'elle reparaît à tel instant que nous voulons, dès que nous y portons le regard, — nous acquérons la conviction, basée sur l'expérience, que nos mouvements sont la cause des différents aspects de la table, et, que nous la voyions ou que nous ne la voyions pas, que nous pouvons la voir dès que nous le voulons. C'est ainsi que nos mouvements nous apprennent à considérer l'image immobile de la table dans l'espace comme la cause des images variables qui se présentent dans nos yeux. Nous déclarons que la table est là, indépendamment de notre observation, parce que nous pouvons l'observer *à tout instant de notre choix*, dès que nous nous mettons dans une position convenable.

Le point essentiel de ce procédé est précisément le principe de l'expérimentation. Nous changeons volontairement et à notre gré une partie des conditions sous lesquelles l'objet est perçu. Nous savons que les modifications que subit alors la manière dont les objets se présentent à nous, n'ont pas d'autre cause que les mouvements que nous avons exécutés. Nous obtenons ainsi une série de notions du même objet pour lesquelles nous nous assurons, avec une certitude expérimentale, qu'elles ne sont que des notions différentes d'un même objet invariable, qui est leur cause commune. Par le fait, nous voyons les enfants expérimenter sur les objets de la manière indiquée. Ils les tournent et les retournent dans tous les sens, ils les tâtent avec les mains et avec la bouche ; ils répètent journellement ce manége pour les mêmes objets, et se pénètrent ainsi de leur forme, c'est-à-dire des différentes impressions visuelles et tactiles que donne le même objet touché et considéré dans tous les sens.

Dans ces expérimentations sur les objets, on voit qu'une partie des modifications de nos sensations dépend de notre propre volonté, et qu'une autre partie, c'est-à-dire tout ce qui dépend de la structure de l'objet que nous avons devant nous, s'impose à nous avec une nécessité que nous ne pouvons pas modifier à notre gré et qui nous devient le plus sensible lorsqu'elle provoque des sensations désagréables, comme la douleur. C'est ainsi que nous arrivons à reconnaître à nos sensations une cause indépendante de notre volonté et de notre imagination, et, par conséquent, extérieure. Cette cause est continuellement indépendante du moment de la perception, puisque, par des manipulations et des mouvements convenables, nous pouvons reproduire à tout moment chacune des sensations qu'elle peut nous donner. C'est ainsi que nous reconnaissons la cause extérieure comme étant un objet indépendant de notre perception.

On voit que l'idée de cause vient s'introduire ici, et l'on peut demander s'il est permis de la supposer dans la perception sensuelle primitive. Ici encore nous rencontrons cette difficulté, que nous ne pouvons décrire ce qui se passe que dans le langage de la science réfléchie, tandis que la forme primitive de la perception consciente ne comprend pas encore nettement la réflexion de la conscience sur elle-même.

La conscience naturelle, qui se développe uniquement dans le sens de l'observation du monde extérieur, est peu disposée à tourner son attention sur le *moi*, qui reste inaltéré en présence des incessantes variations des objets extérieurs ;

aussi ne remarque-t-elle ordinairement pas que les *propriétés* des corps soumis à notre vue et à notre toucher sont des effets qu'ils exercent, soit sur d'autres corps, soit principalement sur nos sens. Aussi, comme on fait complétement abstraction de notre système nerveux et de notre faculté perceptrice, — ces réactifs invariables sur lesquels s'exercent les effets, — et qu'on ne considère les variétés des effets que comme des variétés de l'objet qui les produit, un effet de ce genre ne peut-il plus être considéré comme tel (car tout effet est une action exercée par un objet sur un autre), mais on le considère comme propriété objective du corps, auquel on l'attribue; si l'on se souvient maintenant que ce sont ces propriétés que nous percevons, on conçoit que notre sensation nous paraît être une image exacte de l'objet extérieur, image qui ne reproduit que cet objet extérieur et ne dépend que de lui.

En allant au fond de ce qui se passe ici, il devient évident que si le monde de nos perceptions nous mène à l'idée d'un monde extérieur, c'est seulement lorsque la variabilité de nos perceptions nous fait conclure à l'existence d'objets extérieurs comme causes de ces variations; et si, après nous être représenté les objets extérieurs, nous ne remarquons plus par quelle voie nous sommes arrivés à cette représentation, c'est principalement parce que la conclusion paraît tellement évidente que la présence de cet échelon nous échappe absolument.

Nous sommes donc amenés à considérer la loi de causalité, au moyen de laquelle nous concluons de l'effet à la cause, comme une loi de notre pensée, préalable à toute expérience. En général, nous ne pouvons obtenir aucun résultat d'expérience, relativement aux objets naturels, sans que la loi de causalité agisse déjà en nous; elle ne peut donc pas être un résultat des expériences que nous faisons sur ces objets.

Cependant cette dernière opinion a trouvé bien des défenseurs : on a voulu voir, dans la loi de causalité, une loi naturelle acquise par induction. Stuart Mill l'a récemment exposée de cette manière, et il a même examiné si elle devait nécessairement être applicable pour les habitants d'autres systèmes stellaires. Je me contenterai de faire remarquer que la démonstration empirique de la loi de la cause suffisante est bien difficilement acceptable. En effet, le nombre des cas où nous croyons pouvoir démontrer complétement le rapport causal des phénomènes naturels est bien peu considérable par rapport au nombre des cas où cette démonstration nous est encore complétement impossible. Les premiers appartiennent presque exclusivement à la nature inorganique, tandis que les cas non démontrés comprennent la plus grande partie des phénomènes de la nature organique. Pour les animaux et les hommes, nous admettons même, avec certitude, d'après notre propre conscience, un principe de libre arbitre, que nous sommes absolument obligés de soustraire à la dépendance rigoureuse de la loi causale; malgré toutes les spéculations théoriques sur la fausseté possible de cette conviction, je crois que notre conscience naturelle ne s'en départira jamais. Ainsi ce sont précisément les cas les mieux et les plus exactement connus de nos actions que nous considérons comme des exceptions à cette loi. Si donc la loi causale était une loi d'expérience, sa démonstration inductive serait très-peu satisfaisante. Nous pourrions tout au plus comparer son degré de validité à celui des lois météorologiques, de la

loi de rotation du vent, etc. On n'aurait plus rien à répondre aux physiologistes vitalistes qui considèrent la loi causale comme bonne pour la nature inorganique, mais qui, pour la nature organique, n'admettent son action que dans une sphère peu élevée.

Enfin la loi causale présente le caractère d'une loi purement logique, en ce que les conséquences qu'on en déduit ne se rapportent pas à l'expérience elle-même, mais à la manière de la comprendre, motif pour lequel il est impossible qu'elle soit jamais réfutée par l'expérience (1). En effet, lorsque nous nous heurtons à quelque difficulté dans l'application de la loi causale, nous n'en concluons pas qu'elle soit fausse, mais que nous ne connaissons pas encore complétement l'assemblage des causes qui agissent de concert dans le phénomène qui nous occupe. Et lorsqu'enfin nous sommes parvenus à comprendre certains phénomènes de la nature, d'après la loi causale, nous en déduisons : qu'il existe, dans l'espace, certaines masses matérielles qui s'y meuvent et qui agissent les unes sur les autres avec certaines forces motrices. Mais l'idée de matière, aussi bien que celle de force, sont des idées abstraites, comme on le voit facilement par leurs attributions. La matière, sans la force, est supposée exister dans l'espace sans agir et, par conséquent, sans avoir de propriétés : elle serait donc tout à fait indifférente relativement à tout ce qui se passe dans le monde ; elle le serait également pour nos perceptions : elle le serait tout comme si elle n'existait pas. Quant à la force sans la matière, elle est censée agir, mais sans pouvoir exister seule, car tout ce qui existe est matière. Ces deux idées ne peuvent donc jamais être séparées l'une de l'autre, ce ne sont que des manières abstraites d'envisager les mêmes objets sous différents rapports. Mais, pour la même raison, ni la matière, ni les forces ne peuvent être directement soumises à l'observation : ce ne sont jamais que les causes cachées des faits d'expérience. Si donc nous posons, enfin, comme causes dernières et suffisantes des phénomènes naturels, des abstractions qui ne peuvent jamais être soumises à l'expérience, comment pouvons-nous prétendre qu'on puisse démontrer, par l'expérience, que les phénomènes ont des causes suffisantes ?

La loi de la cause suffisante est tout simplement la prétention de vouloir tout comprendre. En présence des phénomènes de la nature, la tendance de notre esprit est de chercher des *notions générales* et des *lois naturelles*. Les lois naturelles ne sont que des notions générales qui comprennent les variations naturelles. Mais comme il nous faut considérer les lois naturelles comme valables et actives indépendamment de notre observation et de notre pensée, tandis que les notions générales ne seraient qu'une manière de mettre de l'ordre dans notre pensée, nous exprimons cela en appliquant à ces lois les dénominations de *causes* et de *forces*. Lors donc que nous ne pouvons pas ramener des phénomènes naturels à une loi, et que, par conséquent, nous ne pouvons pas poser la loi comme valable objectivement et comme étant la cause des phénomènes, nous cessons de pouvoir concevoir ces phénomènes.

---

(1) HELMHOLTZ, Ueber das Sehen des Menschen ; ein populär wissenschaftlicher Vortrag, Leipzig, 1856.

Mais nous avons besoin de chercher à les concevoir, car nous n'avons pas d'autre moyen de les soumettre à notre intelligence; il faut donc les examiner en admettant que nous parviendrons à les concevoir. De cette façon, la loi de la cause suffisante n'est rien d'autre que le *besoin* qu'éprouve notre intelligence de soumettre toutes nos perceptions à sa domination : ce n'est pas une loi naturelle. Notre entendement est la faculté de former des idées générales, il ne trouve rien à faire de nos perceptions sensuelles et de nos expériences s'il ne peut pas former des idées, des lois générales, qu'il rend objectives ensuite sous le nom de causes. Lorsque les phénomènes peuvent être ramenés à un rapport causal déterminé, ce rapport est assurément un fait objectivement valable, et correspond à des rapports objectifs particuliers qui existent entre les phénomènes; dans notre pensée, nous exprimons un pareil rapport comme étant un rapport causal, et nous n'avons aucune autre manière de l'exprimer.

De même que le mode d'action particulier à notre œil est d'éprouver des sensations lumineuses, et que, par suite, nous ne pouvons *voir* le monde que comme un *phénomène lumineux*, de même notre intelligence a pour fonction particulière de former des idées générales, c'est-à-dire de chercher des causes, et elle ne peut, par conséquent, *comprendre* le monde que comme une connexion *causale*. Outre l'œil, nous avons encore d'autres organes pour nous mettre en rapport avec le monde extérieur; aussi le toucher ou l'odorat s'appliquent-ils à bien des choses que nous ne pouvons pas voir. A côté de l'intelligence, au contraire, nous n'avons aucune faculté de même ordre pour comprendre le monde extérieur. Donc nous ne pouvons pas nous représenter l'existence de ce que nous ne pouvons pas *comprendre*.

Ainsi qu'il a déjà été exposé à la fin du § 17, dans les temps un peu reculés, l'histoire des perceptions sensuelles se confond en général avec celle de la philosophie. La plupart des physiologistes du XVII[e] et du XVIII[e] siècle ne poussèrent généralement leurs recherches que jusqu'à l'image rétinienne, et croyaient qu'avec la formation de cette image tout était dit. Aussi étaient-ils très-embarrassés de comprendre pourquoi les objets nous paraissent droits malgré le renversement des images, simples malgré l'existence de deux images rétiniennes.

DESCARTES fut le premier, parmi les philosophes, à s'occuper attentivement des perceptions visuelles, en tenant compte des connaissances scientifiques de son époque. Il considère les qualités de la sensation comme étant essentiellement subjectives, mais il regarde comme possibles à reconnaître dans leur exactitude objective les idées quantitatives de grandeur, de forme, de mouvement, de position, de durée, de nombre des objets. Mais pour expliquer l'exactitude de ces conceptions il admet, comme les idéalistes qui lui sont postérieurs, un système d'*idées innées* qui seraient conformes aux objets. Ce fut LEIBNITZ qui donna plus tard à cette théorie son développement le plus conséquent et le plus pur.

BERKELEY examina à fond l'influence de la mémoire sur les perceptions visuelles ; il étudia les raisonnements inductifs auxquels elles donnent lieu et dont il dit qu'ils se produisent avec tant de rapidité que nous ne les remarquons pas si nous n'y portons pas particulièrement notre attention. Il faut ajouter que cette base empirique le conduisit à soutenir que non-seulement les qualités des sensations, mais qu'aussi les perceptions en général ne sont que des processus internes auxquels ne correspond aucun phénomène extérieur. Il est conduit à cette conclusion par la proposition erronée d'après laquelle la cause (l'objet perçu) devrait être de même nature que son effet (la représentation) et serait, par conséquent, un être spirituel et non pas un objet réel.

La théorie des perceptions, de LOCKE, rejeta les idées innées et chercha à fonder toute perception sur l'empirisme; cette tendance finit, chez HUME, par aboutir à la négation de la possibilité d'aucune connaissance objective.

Ce fut KANT qui fit, dans sa Critique de la raison pure, le pas le plus important pour poser

la question sous son point de vue véritable ; il déduisit de l'expérience toutes nos connaissances de la réalité, et il ne confondit pas avec ces connaissances tout ce qui, dans la forme de nos notions et de nos représentations, provient des propriétés particulières de notre esprit. La pensée pure, *à priori*, ne peut donner que des propositions formalement exactes qui paraissent s'imposer d'une manière absolue comme lois nécessaires de notre pensée et de notre imagination ; mais elles n'ont aucune application à la réalité, et, par conséquent, on ne peut en déduire aucune conclusion relativement aux faits que pourra donner une expérience quelconque.

Suivant cette manière de voir, la perception est reconnue comme étant une action exercée par l'objet perçu sur notre sensibilité ; action qui, dans ses conditions intimes, dépend aussi bien de la nature de l'objet qui agit que de celle de l'objet sur lequel l'action s'exerce. C'est en particulier à J. Müller, dans son étude des énergies spécifiques des sens, qu'appartient le mérite d'avoir appliqué ce point de vue aux circonstances empiriques.

Les systèmes idéalistes plus récents de J. G. Fichte, Schelling et Hegel ont tous insisté de nouveau sur ce que la représentation dépend essentiellement de la nature de l'esprit ; comme ils ont négligé l'influence qu'exerce sur l'effet l'objet qui le produit, ils ont eu très-peu d'influence sur la théorie des perceptions sensuelles.

Kant s'était borné à considérer l'espace et le temps comme des formes données de toute notion, sans rechercher combien l'expérience peut contribuer au perfectionnement des diverses notions d'espace et de temps. Cette recherche était d'ailleurs en dehors de la voie qu'il s'était tracée. C'est ainsi qu'il considéra notamment les axiomes géométriques comme des propositions contenues originellement dans la notion d'espace, opinion qui prête encore à la discussion. J. Müller et ceux des physiologistes qui cherchaient à établir la *théorie nativistique* des notions d'espace le suivirent dans cette voie. J. Müller admit que la rétine se sentait elle-même dans son étendue, grâce à une faculté innée particulière, et que les sensations des deux rétines se confondaient alors. Il faut citer E. Hering comme celui des physiologistes actuels qui a cherché avec le plus de persistance à soutenir cette opinion et à l'appliquer aux nouvelles découvertes.

Steinbuch avait déjà essayé, dès avant Müller, de déduire, des mouvements des yeux et du corps, les notions particulières sur l'étendue. Au point de vue philosophique, cette idée fut suivie par Herbart, Lotze, Waitz et Cornelius. Au point de vue expérimental, ce fut surtout Wheatstone qui, par la découverte du stéréoscope, donna un puissant stimulant à l'étude de l'influence de l'expérience sur les notions visuelles. Outre quelques petites contributions que j'ai présentées dans ce but, je citerai, parmi les tentatives d'établir un point de vue empiristique, les écrits de Giraud-Teulon, Nagel, Wundt et Classen. Dans le paragraphe suivant, ces recherches et ces discussions seront traitées en détail.

1637. Cartesius, Dioptrice, in Œuvres, publiées par V. Cousin, t. V.
1644. Cartesius, Principia Philosophiæ, III.
1703. Leibnitz, Nouveaux essais sur l'entendement humain, in Opera philos., ed. Erdmann, I, p. 194.
1709. Berkeley, Theory of vision, London.
1720. Locke, Essai sur l'entendement humain, trad. de l'anglais, Londres, L. II et IV.
— Hume, Untersuchungen über den menschlichen Verstand.
1787. J. Kant, Kritik der reinen Vernunft, 2. Aufl., Riga, 1787.
1811. Steinbuch, Beiträge zur Physiologie der Sinne, Nürnberg.
1816. J. F. Herbart, Lehrbuch zur Psychologie, in Herbart's Werke herausgegeben von Hartenstein, Leipzig, 1850, t. V.
1825. Herbart, Psychologie als Wissenschaft, in Sämmtliche Werke, t. VI.
1826. Joh. Müller, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns, Leipzig.
1849. Th. Waitz, Lehrbuch der Psychologie als Naturwissenschaft, Braunschweig.
1852. H. Lotze, Medicinische Psychologie, Leipzig.
1856. H. Lotze, Mikrokosmus, Leipzig.
1861. Cornelius, Die Theorie des Sehens und räumlichen Vorstellens, Halle.
— M. J. Schleiden, Zur Theorie des Erkennens durch den Gesichtssinn, Leipzig.
— A. Nagel, Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen, Leipzig u. Heidelberg.

1861. Giraud-Teulon, Physiologie et pathologie fonctionnelle de la vision binoculaire, Paris.
1861-64. E. Hering, Beiträge zur Physiologie, Leipzig.
1862. W. Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, Leipzig u. Heidelberg. Abgedruckt aus der *Zeitschrift für rationnelle Medicin*, 1858-1862.
1863. A. Classen, Das Schlussverfahren des Sehactes, Rostock.
— E. Hering, Ueber Dr. A. Classen's Beitrag zur physiologischen Optik, in *Archiv für pathol. Anatomie und Physiologie*, VIII, 2, p. 179.
1864. C. S. Cornelius, Zur Theorie des Sehens, Halle.
— J. Dastich, Ueber die neueren physiologisch-psychologischen Forschungen im Gebiete der menschlichen Sinne, Prag.
1866. H. Ulrici, Gott und der Mensch, I. Leib und Seele, Grundzüge einer Psychologie des Menschen, Leipzig.

§ 27. — Des mouvements de l'œil.

Comme les mouvements des yeux jouent un rôle essentiel dans la formation des notions d'étendue que donne le sens de la vue, il est nécessaire que nous entreprenions dès maintenant leur étude.

Le globe oculaire n'est pas contenu dans une cavité articulaire osseuse, solide et régulière, analogue à celles que présentent les articulations des membres ; la cavité orbitaire offre, comme on le voit figure 17, page 40, la forme d'une pyramide quadrangulaire dont le sommet est en arrière et qui ne peut aucunement s'adapter à la forme à peu près sphérique du globe oculaire. Les lacunes qui existent entre l'œil et les parois osseuses de l'orbite sont remplies par un tissu connectif lâche, contenant beaucoup de graisse, et dans lequel sont situés les muscles, les nerfs, les vaisseaux de l'œil, les glandes lacrymales, etc. Ces vides se rétrécissent le long du bord antérieur de l'orbite : notamment en haut, en dedans et en dehors, il ne reste qu'une fente assez étroite entre l'œil et la paroi osseuse, ainsi qu'on peut s'en assurer facilement en cherchant à y faire pénétrer le doigt : on ne peut y parvenir sans produire aussitôt des phosphènes. Ce n'est qu'en bas et en dehors, vers l'os zygomatique, que la lacune est un peu plus grande. La masse molle de graisse, de muscles, de nerfs, de vaisseaux et de glandes, située derrière l'œil, est donc renfermée dans une cavité presque complétement entourée de parois solides, et qui ne présente que des fentes rares et étroites fermées par une substance moins résistante. Cette cavité est formée en arrière et sur les côtés par les parois osseuses de l'orbite, en avant par le globe oculaire lui-même. Comme les parties organiques précitées : graisse, muscles, nerfs, etc., sont presque entièrement incompressibles comme l'eau, qui forme la plus grande partie de leurs poids, et qu'elles ne peuvent ni céder sensiblement, ni augmenter de volume, les mouvements de l'œil sont tout

d'abord soumis à cette condition de ne pas pouvoir modifier le volume des parties situées derrière le globe oculaire.

L'œil ne peut donc, dans les conditions normales, ni s'enfoncer dans la cavité orbitaire, ni en sortir, ou du moins les contractions passagères de ses muscles ne peuvent pas être accompagnées de semblables mouvements. Lorsque le sang afflue avec plus de force dans les vaisseaux de l'orbite ou que ceux-ci se vident, comme cela a lieu, par exemple, après certaines maladies graves ou après la mort, il est certain que le volume des parties molles, situées derrière l'œil, varie et que le globe oculaire se déplace en avant ou en arrière ; mais les mouvements volontaires de l'œil ne peuvent pas être accompagnés de semblables modifications. Lorsqu'on cherche à enfoncer l'œil dans la cavité orbitaire, par la pression des doigts, on sent aussitôt une résistance considérable avant que l'œil se soit déplacé d'une manière sensible, et l'on remarque immédiatement les phénomènes subjectifs que la pression amène dans l'œil. En même temps, les parties molles viennent déborder à côté de l'œil, surtout par en bas ; dès que la pression diminue, elles reculent par l'effet de leur élasticité.

L'œil ne peut pas davantage se déplacer en masse, ni en hauteur, ni par côté ; il rencontrerait toujours quelque partie du bord osseux antérieur de l'orbite.

Ainsi les déplacements de l'œil en totalité, c'est-à-dire tous ceux où les points de l'œil se déplaceraient tous suivant la même direction, sont rendus impossibles, et cet organe ne peut exécuter que des *rotations*, c'est-à-dire des mouvements dans lesquels l'un de ses côtés pénètre dans la cavité orbitaire, tandis que l'autre en sort. Ainsi la manière dont le globe oculaire est logé produit, au point de vue de ses mouvements, le même résultat mécanique que s'il était une tête articulaire sphérique reçue dans une cavité cotyloïde comme la tête du fémur.

Si le globe oculaire ne peut exécuter que des mouvements de rotation, il faut se demander tout d'abord quel est le *centre* de ces rotations.

Le professeur Junge, de Saint-Pétersbourg, a cherché, dans mon laboratoire, à déterminer le centre de rotation de l'œil, en mesurant de combien se rapprochaient les reflets lumineux des deux cornées, lorsque les lignes visuelles passaient du parallélisme à un angle de convergence déterminé ; mais l'observation montra que l'ellipticité de la cornée exerçait une influence notable sur le calcul des résultats, et comme il est très-laborieux de déterminer cette ellipticité pour un grand nombre d'yeux, cette méthode, bien qu'elle ait donné des résul-

tats très-exacts, ne paraît pas susceptible d'une fréquente application.

Pour ce motif, Donders et Doijer (1) ont employé un procédé plus simple qui se trouva être suffisamment exact. Au moyen de l'ophthalmomètre, on mesura d'abord le diamètre horizontal de la cornée, et l'on détermina la position de la ligne visuelle par rapport à l'axe de la cornée. Puis on tendit verticalement un fil mince, immédiatement en avant de l'œil, et l'on nota les déplacements qu'il fallait faire exécuter à l'œil, à droite et à gauche, pour amener successivement derrière le fil les deux bords de la cornée. Cet angle et l'étendue connue des rotations suffirent pour calculer la position du centre de rotation. On trouvera plus loin les détails de l'opération.

Ces expériences ont donné les résultats suivants : pour 19 yeux normaux le centre de rotation était de $10^{mm},42$ à $11^{mm},77$, en moyenne à $10^{mm},957$, en arrière du plan mené par le bord de la cornée, ou bien à $13^{mm},557$ en arrière du sommet de la cornée, et à environ 10^{mm} en avant de la face postérieure de la sclérotique, par conséquent un peu plus près de cette membrane que de la base de la cornée. La position du centre de rotation dépend, en effet, principalement de la forme de la moitié postérieure de l'œil, car cette partie seule est en contact avec le coussin mou et résistant qui remplit le fond de l'orbite. Dans les yeux normaux, cette moitié postérieure de l'œil paraît appartenir à un ellipsoïde plus aplati que la moitié antérieure; le centre de rotation doit se trouver à peu près au centre de cet ellipsoïde.

Les yeux myopes sont allongés en arrière; aussi leur centre de rotation se trouve-t-il plus en arrière que dans les yeux normaux. Donders le trouva, au maximum, à $13^{mm},26$ en arrière de la base de la cornée ou à $15^{mm},86$ en arrière de son sommet. Les yeux hypermétropes sont, au contraire, aplatis en arrière; leur centre de rotation se trouve, par suite, un peu plus en avant; le minimum de sa distance à la base de la cornée était de $9^{mm},71$, soit $12^{mm},32$ en arrière du sommet de la cornée.

Donders n'a pas encore examiné si la position du centre de rotation reste absolument constante pour toutes les positions de l'œil.

Il résulta, de plus, de ces expériences, que, sauf une seule exception, les yeux normaux purent exécuter, sans difficulté, les mouvements exigés par la disposition de l'expérience, et qui étaient de 28 degrés de part et d'autre, tandis que les yeux myopes présentaient souvent une

---

(1) *Derde Jaarlijksch Verslag betr. Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders,* Utrecht, 1862, p. 209-229.

mobilité plus restreinte ; parmi les yeux hypermétropes, il ne se trouva également qu'un seul cas de mobilité insuffisante. Cependant, la plupart des yeux peuvent même exécuter des mouvements plus étendus. Avec tout l'effort dont je suis capable, j'arrive à atteindre 50 degrés de part et d'autre, dans le plan horizontal, et 45 degrés environ dans le plan vertical, de sorte que, de haut en bas, mon œil peut décrire à peu près un angle droit et un peu davantage dans le plan horizontal. Mais les rotations extrêmes sont déjà très-forcées et impossibles à supporter longtemps.

Nous allons examiner maintenant quelles sont les rotations que l'œil exécute. — La manière dont l'œil est fixé ne présente aucun obstacle à des rotations quelconques d'une amplitude modérée ; les muscles existants suffiraient également pour déterminer la rotation autour d'un axe donné quelconque ; cependant l'étude exacte des mouvements de l'œil humain a montré que, dans les circonstances ordinaires de la vision normale, l'œil est loin d'exécuter tous les mouvements dont la possibilité mécanique est reconnue. Nous avons donc à examiner d'abord quels sont les mouvements que l'œil exécute réellement.

Dans la détermination de la position de l'œil et des objets que nous voyons, il s'agit, en général, de procéder par rapport à la tête, dont la position et la direction dans l'espace doivent être considérées comme connues. Pour ces déterminations, il nous sera commode d'employer la nomenclature suivante, peu différente de celle proposée par Henle pour les descriptions anatomiques.

La tête de l'homme se compose de deux moitiés symétriques ; nous nommons *plan médian* son plan de symétrie. Sous le nom de *lignes transversales*, nous désignons celles qui joignent des points correspondants des moitiés droite et gauche de la tête. Les lignes transversales sont perpendiculaires au plan médian. Les plans parallèles au plan médian s'appellent *sections sagittales*.

On peut considérer comme position naturelle de la tête celle qu'on prend lorsque le corps est droit et que les regards sont dirigés vers l'horizon. Chez moi, dans cette position, la glabelle de l'os frontal (la partie située immédiatement au-dessus de la racine du nez) se trouve sur la même verticale que les dents de la mâchoire supérieure. Cependant cette indication ne détermine la position que d'une manière approximative ; on verra plus loin comment on peut obtenir une détermination plus exacte, relativement aux mouvements de l'œil. On appelle *sections horizontales* ou *transversales* les plans horizontaux menés à travers la tête, lorsqu'elle est dans cette position, et *sections*

frontales les sections verticales menées perpendiculairement au plan médian. Les sections frontales et les sections horizontales se coupent suivant les *lignes transversales*. Les lignes d'intersection du plan médian et des plans sagittaux, qui lui sont parallèles, avec les sections horizontales, s'appellent *lignes sagittales* (lignes dirigées exactement d'arrière en avant) et celles suivant lesquelles se coupent les plans médian et sagittaux et les plans frontaux s'appellent *lignes verticales*. Les lignes *transversales* vont donc de droite à gauche, les *sagittales* d'avant en arrière, et les *verticales* de haut en bas.

On obtient ainsi un système rectangulaire de coordonnées considéré comme lié invariablement à la tête, dont il accompagne les mouvements. On appelle *droit* et *gauche* les deux côtés du plan médian, *interne* et *externe* ceux d'un plan sagittal ; comme cette dénomination peut donner lieu à une confusion avec la partie *intérieure* ou *extérieure* d'un organe creux, le mieux est d'employer ici les désignations de côté *nasal* et de côté *temporal*. Les deux côtés des sections transversales peuvent être appelés *supérieur* et *inférieur*, ou lorsque, pour une position inclinée de la tête, ces expressions pourraient être équivoques, on peut employer les mots de *frontal* et de *jugal*, proposés par Serre (d'Uzès). Les deux côtés des sections frontales peuvent être nommés *antérieur* et *postérieur*, sans équivoque.

Relativement aux mouvements de l'œil, le centre de rotation forme le point fixe, et, dans la vision normale, les deux yeux sont toujours placés de telle façon qu'ils fixent un seul et même point; comme ce point définit ce qu'on appelle usuellement la position du regard, nous l'appellerons *point de regard* (on le nomme aussi *point de fixation*). Nous nommerons *ligne de regard*, une ligne droite allant du *point de regard* au *centre de rotation* de l'œil ; cette ligne diffère un peu de la *ligne visuelle*, qui correspond au rayon non réfracté : elle occupe sans doute une position un peu plus interne (nasale), puisque le centre de rotation est probablement sur l'axe oculaire, et, par suite, dans une position interne par rapport à la ligne visuelle. Cependant, dans la plupart des cas, on pourra négliger cette différence entre les deux lignes. Un rayon lumineux qui se dirige suivant la ligne de regard doit, comme tous les rayons partis du point de regard, passer finalement par le centre de la tache jaune ; il ne peut donc pas rester dans le prolongement de la ligne de regard.

Nous nommerons *plan de regard* le plan mené par les deux lignes de regard (réservant le nom de *plan de visée*, qu'on a parfois employé dans ce sens, pour le plan qui contient les *lignes de visée ;* du reste, on peut négliger, en général, la différence qui existe entre le plan de

visée et le plan de regard). La ligne qui joint les centres de rotation et qui forme un triangle avec les deux lignes de regard, est considérée comme la base de ce triangle et nommée, pour cette raison, *ligne de base*. Le plan médian de la tête coupe la ligne de base en son milieu ; il coupe le plan de regard suivant la *ligne médiane du plan de regard*.

Le point de regard peut être élevé ou abaissé. Nommons *champ de regard* le champ qu'il peut parcourir ; ce champ est moins étendu que le champ visuel. Nous considérons le champ de regard comme étant une partie d'une surface sphérique dont le centre serait au centre de rotation. Considérons comme position initiale du plan de regard une certaine position, arbitraire d'abord, et que nous définirons plus tard exactement ; toute nouvelle position de ce plan est complétement déterminée si l'on connaît l'angle qu'elle forme avec la position primitive, angle que nous appellerons *angle ascensionnel du regard*. Cet angle sera compté positivement lorsque le plan de regard se sera déplacé vers le front et négativement lorsqu'il se sera rapproché du menton.

La ligne de regard de chaque œil peut se déplacer, dans le plan de regard, dans le sens temporal ou nasal ; ces mouvements se nommeront *déplacements latéraux du regard* et nous les mesurerons par *l'angle de déplacement latéral*, c'est-à-dire par l'angle que la direction de la ligne de regard forme avec la ligne médiane du plan de regard. Cet angle sera positif pour les déplacements à droite et négatif pour les déplacements à gauche.

L'*angle ascensionnel* et l'*angle latéral* suffisent pour définir la position de la ligne de regard. Fick, Meissner et Wundt se sont servis de deux autres angles. — On a vu qu'avec mes définitions la ligne de regard est d'abord élevée avec le plan de regard, puis déplacée latéralement dans ce plan. Fick suppose d'abord que le plan de regard est horizontal ; puis il déplace horizontalement la ligne de regard suivant un angle qu'il appelle *longitude*, en comparant l'axe vertical de l'œil avec l'axe polaire d'un globe terrestre ; alors seulement il fait monter la ligne de regard d'un angle qu'il appelle *latitude*. Mais dans cette manière de mesurer, les valeurs de la longitude aussi bien que de la latitude, dépendent de la position initiale qu'on a attribuée au plan de regard, position qu'on est hors d'état de déterminer suffisamment dès l'abord, et dont chaque changement nécessite des calculs trigonométriques pour les deux autres angles. L'*angle latéral* que j'ai déjà choisi est, au contraire, tout à fait indépendant du choix de la position initiale du plan de regard, et lorsqu'on choisit une autre origine pour les *angles ascen-*

sionnels, il suffit d'une addition ou d'une soustraction pour faire la transformation.

Les angles que nous venons d'indiquer déterminent donc complétement la position de la ligne de regard, mais celle de l'œil n'est pas encore entièrement définie. En effet, le globe oculaire pourrait encore exécuter des mouvements de rotation quelconques autour de la ligne de regard prise pour axe, et maintenue immobile. A défaut de terme plus satisfaisant, nous nommerons *torsions* les rotations de l'œil autour de la ligne de regard (l'expression allemande de *Raddrehung* exprime que, dans ces mouvements, l'iris exécute une rotation semblable à celle d'une roue). Pour mesurer l'étendue du mouvement de torsion, il faut déterminer l'angle que fait, avec le plan de regard, un plan lié invariablement à l'œil. J'ai choisi pour plan fixe celui qui coïncide avec le plan de regard, lorsque, la tête étant droite, le regard des deux yeux se dirige, parallèlement au plan médian, vers l'horizon situé à une distance infinie, et j'ai donné le nom d'*horizon rétinien* à ce plan qui occupe dans l'œil une position fixe. Cette détermination n'avait présenté aucun équivoque ni pour mes yeux, ni pour d'autres yeux normaux que j'avais examinés. Mais il s'est trouvé, plus tard, qu'il n'en était plus ainsi pour les yeux myopes; pour ceux-ci, il faut donc déterminer exactement la position primitive du plan de regard ; il serait peut-être mieux, à l'avenir, d'employer pour ces yeux la position du plan de regard pour laquelle les lignes droites, situées dans ce plan, se peignent sur des parties correspondantes des deux rétines ; c'est ce qui paraît avoir lieu, en général, dans les yeux normaux, pour la direction du regard parallèle au plan médian, telle que nous l'avons choisie. Nous nommerons *angle de torsion* de l'œil, l'angle compris entre l'*horizon rétinien* et le *plan de regard;* nous le prendrons positif, lorsque l'extrémité supérieure du méridien vertical de la rétine se déplace vers la droite : pour éviter les fautes de signe, l'observateur se souviendra que, dans ce mouvement positif, son œil tourne dans le même sens que les aiguilles d'une montre placée en face de lui. C'est ce que les astronomes appellent mouvement *direct.*

Nous allons rechercher d'abord les lois des mouvements des deux yeux pour lesquels les lignes de regard restent constamment parallèles : c'est ce qui se réalise lorsqu'on promène le regard sur des objets éloignés. La loi trouvée pour le cas où les lignes visuelles sont parallèles subit quelques légères altérations lorsque les yeux occupent une position convergente.

La première loi, établie par Donders et confirmée par toutes les

recherches postérieures, peut être énoncée ainsi : *A une position déterminée de la ligne de regard par rapport à la tête, répond une valeur déterminée et invariable de l'angle de torsion*, valeur indépendante de la volonté de l'observateur, indépendante aussi de la manière dont on a amené la ligne de regard dans la position considérée. Employant les dénominations que nous avons adoptées, on peut exprimer cette loi de la manière suivante :

Lorsque les lignes de regard sont parallèles, l'ange de torsion de chaque œil n'est fonction que de l'angle ascensionnel et de l'angle latéral.

Donders, en particulier, a montré, contrairement à l'opinion émise auparavant par Hueck, que la valeur de l'angle de torsion ne change pas avec l'inclinaison de la tête, lorsque la position de la ligne de regard par rapport à la tête reste invariable. Donders avait également considéré la position de chaque œil comme indépendante de celle de l'autre. Cependant Volkmann a fait voir que, du moins pour les yeux myopes, la convergence des yeux exerce une influence faible, il est vrai, et dont nous parlerons plus loin. En outre, la fatigue des muscles de l'œil, qui accompagne une convergence prolongée, exerce aussi quelque influence ; de plus, dans des conditions particulières dont nous parlerons plus loin, les efforts qu'on fait lorsqu'on ne peut voir un objet simple qu'au moyen de mouvements inusités de l'œil, exercent aussi une influence, sinon immédiatement, du moins au bout de quelque temps. Enfin, il peut aussi se présenter de petites modifications d'un jour à l'autre. Mais toutes ces aberrations sont faibles et n'empêchent pas, en somme, la loi de Donders de présenter une approximation suffisante.

On peut résumer de la manière suivante les principaux traits de la loi des mouvements de l'œil, qui sont communs à tous les yeux.

Parmi les différentes directions de l'œil, on peut en trouver une telle que l'œil n'exécute aucun mouvement de torsion lorsqu'il s'en écarte par un mouvement, soit ascensionnel, soit latéral. Nous donnerons à cette position le nom de *position primaire de la ligne de regard*. Ainsi, lorsqu'on part de la position primaire, l'*élévation directe ou l'abaissement de l'œil*, sans déplacement latéral, *et le simple déplacement latéral*, sans élévation ni abaissement, *ne produisent aucun mouvement de torsion.*

Nous nommons direction primaire du plan de regard la direction du plan de regard qui passe par les directions primaires des deux lignes de regard.

Lorsque le plan de regard est dirigé en haut, les déplacements

latéraux à droite font tourner l'œil à gauche, et les déplacements vers la gauche le font tourner à droite.

Lorsque le plan de regard est abaissé, les déplacements latéraux à droite sont accompagnés de torsion à droite, et vice versâ.

En d'autres termes : *Lorsque l'angle ascensionnel et l'angle latéral sont tous les deux de même signe, la torsion est négative; s'ils sont de signe contraire, la torsion est positive.*

A égalité d'élévation et d'abaissement, la torsion est d'autant plus forte que l'angle latéral est plus grand, et à égalité de déplacement latéral, elle est d'autant plus forte que l'élévation ou l'abaissement est plus considérable.

Pour constater les faits que nous venons de mentionner, le mieux est de se servir des images accidentelles, comme Ruete l'a proposé le premier. — On se place en face d'un mur dont la tenture présente des lignes horizontales et verticales bien visibles, sans que le dessin soit assez marqué pour empêcher d'y distinguer facilement des images accidentelles ; le fond le plus commode est un gris pâle et mat. En face de l'œil observateur et à sa hauteur, on tend horizontalement un ruban noir ou coloré, de deux à trois pieds de long, et qui tranche fortement sur la couleur de la tenture. Pour assurer la position de la tête, il est bon d'appuyer fortement l'occiput; il faut faire en sorte qu'elle ne soit inclinée ou tournée ni à droite, ni à gauche : le plan médian de la tête doit être maintenu vertical et perpendiculaire au mur. On reconnaît facilement si le plan médian de la tête est vertical, en louchant de manière à obtenir de doubles images du ruban noir : ces images doivent se trouver sur une même ligne droite. Si, après avoir fixé invariablement, pendant un peu de temps, le milieu du ruban, on dirige brusquement le regard, sans déplacer la tête, sur une autre partie de la muraille, on y voit une image accidentelle du ruban et, en comparant cette image avec les lignes horizontales de la tenture, on reconnaît si elle est horizontale ou non. L'image accidentelle elle-même est développée sur les points de la rétine qui font partie de l'horizon rétinien et désigne, pendant les mouvements de l'œil, les parties du champ visuel où se projette l'horizon rétinien. L'intersection du plan de regard avec le mur est nécessairement horizontale tant que la tête de l'observateur est dans la position indiquée, où la ligne qui joint les deux centres de rotation des deux yeux est horizontale et parallèle au plan de la muraille. Les lignes horizontales de la tenture donnent donc la projection du plan de regard sur la tenture, et l'horizon est tourné par rapport au plan de regard, comme l'image accidentelle par rapport à ces lignes horizontales.

Nous trouvons que lorsque la position de la tête est convenable et qu'on regarde directement en haut, en bas, à droite ou à gauche, l'image accidentelle du ruban horizontal se confond avec les lignes horizontales de la tenture. Mais lorsqu'on porte le regard *en haut et à droite* ou *en bas et à gauche*, l'image tourne vers la *gauche*, c'est-à-dire que son extrémité gauche est plus bas que l'autre, toujours en comparaison des lignes horizontales de la tenture; lorsqu'on regarde à *gauche et en haut* ou à *droite et en bas*, l'image accidentelle est, au contraire, un peu tournée à droite : son extrémité droite est plus bas que la gauche.

Le sens de ces rotations est exactement le même pour les deux yeux ; pour s'en assurer facilement et complétement, il suffit d'ouvrir les yeux en même temps pendant la production de l'image accidentelle, puis de changer la direction du regard, et, tandis qu'on regarde l'image accidentelle, de recouvrir alternativement et rapidement les yeux à l'aide de la main. Dans cette expérience, pour les yeux normaux que j'ai examinés, l'image accidentelle est restée parfaitement immobile.

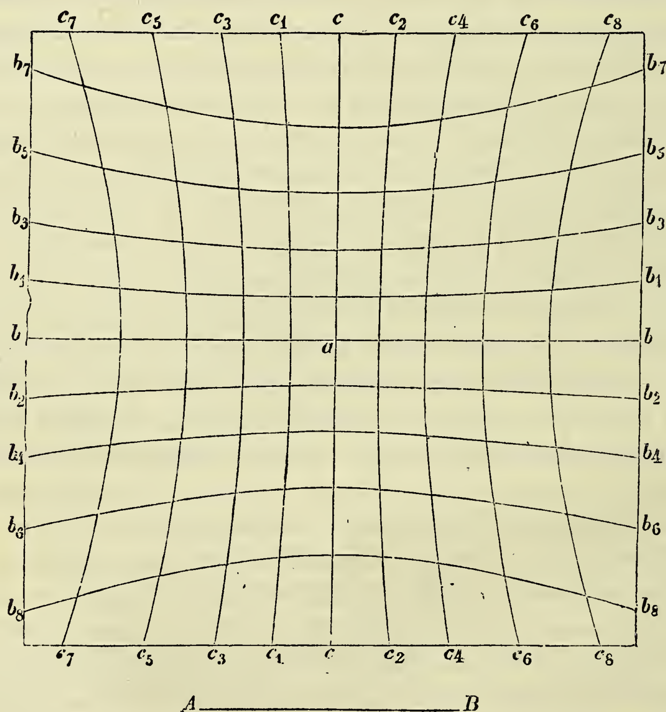


Fig. 154.

Si l'on tend le ruban verticalement et qu'on compare, de la même

manière, son image accidentelle avec les lignes verticales de la tenture, on obtient des rotations qui paraissent être d'un sens contraire à celui que nous venons de voir. En effet, si l'on regarde à droite et en haut, l'image accidentelle ne paraît pas tourner vers la gauche, mais bien vers la droite, par rapport aux lignes verticales de la tenture. Mais de là on ne peut pas conclure à une rotation de l'œil dans le sens direct, car, dans ce cas, les lignes verticales de la tenture ne se confondent pas avec la projection, sur le mur, d'une perpendiculaire au plan de regard; celle-ci paraîtrait, au contraire, tournée dans le même sens que l'image accidentelle, et d'un angle plus considérable que cette image.

La figure 154 représente toute la marche du phénomène d'après la loi applicable aux yeux normaux. L'œil se trouve sur la perpendiculaire élevée en a, et à une distance égale à AB. Projetées sur une autre partie du champ, les images accidentelles d'une ligne horizontale passant par a se confondent avec la direction des courbes $b_1 b_1$, $b_2 b_2$, etc.; celles d'une ligne verticale passant par a se confondent, au contraire, avec les courbes $c_1 c_1$, $c_2 c_2$, etc. Pour les mouvements normaux, ces courbes sont des hyperboles.

Comme lorsque, partant de la position primaire, on élève ou l'on abaisse obliquement le regard, les images accidentelles des lignes verticales paraissent subir, par rapport aux lignes verticales de la tenture, une rotation en sens contraire de celle des images horizontales, il est naturel de présumer qu'entre les lignes horizontales et verticales il existe pour chaque mouvement de l'œil une direction intermédiaire, où l'image accidentelle est parallèle à son objet, et c'est ce qui a lieu en effet : les images accidentelles de lignes obliques, qu'on a fixées dans la position primaire, restent parallèles à leur objet lorsqu'on fait marcher le regard, soit dans le prolongement de la ligne de l'objet, soit perpendiculairement à cette ligne.

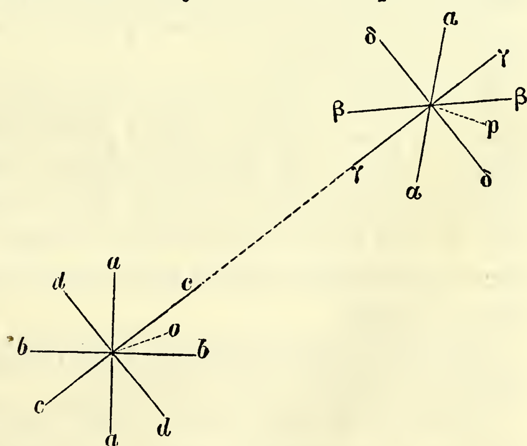


Fig. 155.

Soient donc, dans la position primaire, o (fig. 155) le point où la ligne de regard coupe perpendiculairement le plan du dessin, soient aa et bb deux lignes verticale et horizontale menées par o. Si l'on dirige le regard vers p,

les images accidentelles prennent les directions $\alpha\alpha$ et $\beta\beta$, qui ne sont pas respectivement parallèles à *aa* et *bb*. Mais si l'on mène par *o* les lignes *cc* et *dd*, respectivement dirigées suivant *op* et suivant la perpendiculaire à cette direction, ces deux lignes donnent en *p* les images accidentelles $\gamma\gamma$ et $\delta\delta$ qui sont parallèles à leurs objets.

Dans les yeux que j'ai examinés, cette loi parut être d'autant plus exactement satisfaite que les yeux étaient moins myopes.

Il résulte donc de l'expérience indiquée par la figure 155 que, lorsque le regard est dirigé vers *p*, les lignes $\gamma\gamma$ et $\delta\delta$ se dessinent sur les mêmes parties de la rétine que les lignes *cc* et *dd*, lorsque le regard est dirigé vers *o*. Si l'on demande maintenant autour de quel axe l'œil doit tourner pour passer de la première position dans la seconde, on voit facilement que cet axe doit être parallèle aux lignes *dd* et $\delta\delta$, et, par conséquent, perpendiculaire au plan mené par *op* et le centre de rotation. Qu'on suppose ce plan invariablement lié à l'œil, sa position ne change pas quand il tourne avec l'œil autour d'un axe qui lui est perpendiculaire. Son intersection *op* avec le plan du dessin reste donc également invariable, dans un mouvement de ce genre, et cette ligne, dont font partie *cc* et $\gamma\gamma$, se peint toujours sur les mêmes parties de la rétine, comme l'exigent les résultats de l'expérience. Qu'on se figure, de plus, un plan passant par l'axe et par la ligne *dd* qui lui est parallèle, ce plan tournant autour de l'axe, la ligne d'intersection de ce plan avec le plan du dessin doit toujours rester parallèle à l'axe et, par conséquent, parallèle à la ligne *dd*. Car lorsqu'un plan passe par une ligne droite (axe de rotation) parallèle à un autre plan (plan du dessin), la ligne d'intersection des deux plans est aussi parallèle à cette ligne droite (axe de rotation).

Nous pouvons donc énoncer de la manière suivante la loi du mouvement des yeux normaux dirigés parallèlement : *Lorsque la ligne de regard passe de sa position primaire à une position quelconque, l'angle de torsion de l'œil, dans cette seconde position, est le même que si l'œil était venu dans cette position en tournant autour d'un axe fixe, perpendiculaire à la première et à la seconde position de la ligne de regard.*

Cette loi des mouvements des yeux porte le nom de Listing, qui l'a exprimée le premier sous cette forme.

Il n'est pas nécessaire que le regard passe réellement de sa première direction à la seconde en suivant une ligne droite, ni que l'œil tourne réellement autour d'un axe invariable : ce passage de la première à la seconde position peut se faire de n'importe quelle manière ; d'après la loi de Donders, la position finale n'en est pas altérée, et l'on peut

démontrer, d'ailleurs, l'exactitude de cette loi de Donders en amenant intentionnellement le regard par différents chemins à sa position finale et s'assurant, à l'aide de la coïncidence de l'image accidentelle $\gamma\gamma$ avec la ligne *op*, de l'identité de l'angle de torsion définitif.

Cependant il faut encore remarquer qu'après des excursions considérables, au premier moment où la ligne de regard est arrivée au second point de fixation, la position de l'image accidentelle est encore parfois un peu altérée; mais, après une ou deux secondes, elle redevient normale.

Si l'on calcule, d'après la loi de Listing, vérifiée par de semblables expériences, la valeur de l'angle de torsion γ en fonction de l'angle ascensionnel α et de l'angle latéral β, on trouve l'équation suivante :

$$-\text{tang.}\ \gamma = \frac{\sin\alpha \sin\beta}{\cos\alpha + \cos\beta}$$

ou, sous une forme calculable par logarithmes,

$$-\text{tang.}\left(\frac{\gamma}{2}\right) = \text{tang.}\left(\frac{\alpha}{2}\right)\text{tang.}\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

Le tableau suivant indique les valeurs de l'angle de torsion calculées pour des valeurs des deux autres angles croissantes de 5 en 5 degrés.

ANGLE LATÉRAL.	ANGLE ASCENSIONNEL.							
	5°.	10°.	15°.	20°.	25°.	30°.	35°.	40°.
5°	0° 13′	0° 26′	0° 40′	0° 53′	1° 7′	1° 20′	1° 35′	1° 49′
10°	0° 26′	0° 53′	1° 19′	1° 46′	2° 13′	2° 41′	3° 10′	3° 39′
15°	0° 40′	1° 19′	1° 59′	2° 40′	3° 21′	4° 2′	4° 45′	5° 29′
20°	0° 53′	1° 46′	2° 40′	3° 34′	4° 29′	5° 25′	6° 22′	7° 21′
25°	1° 7′	2° 13′	3° 21′	4° 29′	5° 38′	6° 48′	8° 0′	9° 14′
30°	1° 21′	2° 41′	4° 2′	5° 25′	6° 48′	8° 13′	9° 39′	11° 8′
35°	1° 35′	3° 10′	4° 45′	6° 22′	8° 0′	9° 39′	11° 21′	13° 6′
40°	1° 49′	3° 39′	5° 29′	7° 21′	9° 14′	11° 8′	13° 6′	15° 5′

Ainsi, d'après la loi de Listing, pour les mouvements du regard qui partent de la position primaire pour passer à une autre position quelconque, l'axe de rotation est toujours situé dans un plan perpendiculaire à la ligne de regard.

Supposons que ce plan des axes de rotation passe par la ligne *AA* (fig. 156, p. 608), perpendiculaire à la ligne de regard *OB*. Figurons-nous un second plan $\mathfrak{A}$ coïncidant avec le plan *AA* dans la position

primaire de l'œil, mais qui soit invariablement lié au globe oculaire. Lorsqu'on a amené la ligne de regard *OB* dans une position secondaire *OF*, 𝔄 prend une autre position *CC*, différente de *AA*. Pour passer de cette position secondaire à n'importe quelle autre position, on peut encore faire tourner l'œil autour d'un axe fixe, et tous les axes de ce genre se trouvent également compris dans un seul et même plan ; on verra plus loin que, par suite de la loi de Listing, *ce plan est bissecteur de l'angle compris entre les plans* AA *et* CC : il est perpendiculaire au plan du dessin, qu'il coupe suivant la ligne *HH*. C'est là le plan des axes de rotation pour partir de la direction secondaire correspondant à la position *OF* de la ligne de regard.

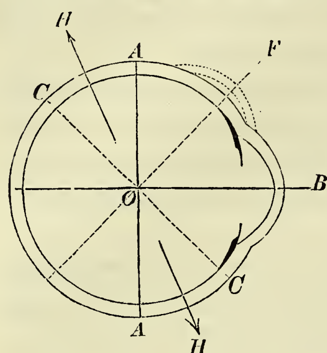


Fig. 156.

Enfin, pour passer d'une position quelconque *a* du globe oculaire à une autre position *b*, construisant les plans des axes de rotation pour les positions *a* et *b*, leur intersection est l'axe autour duquel il suffit de faire tourner l'œil pour l'amener de *a* en *b*. Il est évident, en effet, que cet axe doit appartenir aux deux plans, puisqu'on peut aussi exécuter le même mouvement de *b* en *a*, et que l'axe de rotation doit remplir les conditions du mouvement aussi bien dans un sens que dans l'autre, c'est-à-dire qu'il doit se trouver dans les deux plans d'axes de rotation qui appartienent aux deux lignes de regard.

Pour les yeux normaux ou faiblement myopes qui ont été examinés jusqu'ici, la loi de Listing s'est trouvée satisfaite avec une grande exactitude pour toutes les directions parallèles des deux lignes de regard. Lorsque la méthode des images accidentelles est bien appliquée, elle permet de déterminer la position du globe oculaire sans erreur supérieure à un demi-degré environ. Une autre méthode, appliquée d'abord par Meissner, perfectionnée plus tard par Volkmann, et qui repose sur la comparaison des images des deux yeux, permet des déterminations encore plus exactes, — l'exactitude peut atteindre 1/10 de degré ; — cette méthode, qui ne s'applique pas pour la position d'un seul œil, est utilisable pour l'étude des différences de position des deux yeux. J'ai fait, sur mes propres yeux, des expériences, d'après cette méthode, dont je décrirai les détails plus loin, et dans les positions périphériques extrêmes, en haut et en bas, j'ai trouvé que chaque œil s'écartait de la loi de Listing d'un angle de 9 minutes seulement ; Volkmann trouva, pour ses yeux un peu plus myopes que les miens, et

pour le regard dirigé obliquement en bas, à droite comme à gauche, un écart maximum de 54 minutes pour les deux yeux, ce qui fait à peu près 27 minutes pour chacun. Mais les yeux fortement myopes, comme ceux du docteur Berthold, présentèrent des écarts plus considérables, notamment dans les directions périphériques en haut et en bas ; ces déviations sont probablement attribuables aux obstacles mécaniques que présente aux mouvements de l'œil myope son allongement postérieur.

Ce qui précède s'applique aux positions où les deux lignes de regard sont parallèles. — D'après une découverte de Volkmann, on trouve des résultats sensiblement différents, et l'écart varie d'une personne à l'autre, lorsque les lignes de regard convergent pour l'examen d'un objet rapproché. Pour les yeux de Volkmann, la convergence du regard sur les points d'un plan situé à 30 centimètres des yeux augmente uniformément de 2 degrés la divergence des méridiens verticaux apparents des deux yeux, par rapport à la convergence que ces méridiens devraient présenter d'après la loi de Listing, si la divergence et la position primaire étaient les mêmes que pour le parallélisme des lignes visuelles. Ainsi, en tant que l'influence de la convergence se manifeste sur l'altération de la différence de position des deux yeux, on pourrait admettre pour les yeux de Volkmann, soit une disposition d'après laquelle la position primaire serait située plus bas lors de la convergence, soit une modification de la rotation de l'œil dans la position primaire, que nous considérons comme point de nullité des mouvements de torsion. Cette modification augmente avec la convergence.

Pour mes yeux, cette rotation par convergence est bien plus faible dans les parties moyennes du champ visuel que pour ceux de Volkmann, elle en est seulement le 1/9 ; de sorte qu'elle m'avait échappé dans les expériences avec les images accidentelles ; elle présente, d'ailleurs, le même sens. Par contre, j'ai trouvé, dans les expériences avec les images accidentelles, que dans les directions périphériques latérales du regard, la convergence amène des déviations de 2° à 2° 1/2 de l'image accidentelle, dans le sens qu'elles offriraient si la position primaire de

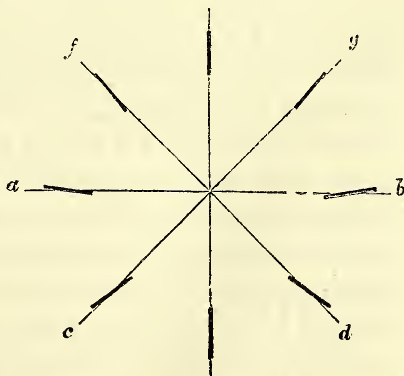


Fig. 157.

mon œil devait être un peu plus basse pour les directions convergentes que pour le parallélisme. Dans la figure 157, les traits épais et courts indiquent, en exagérant leurs déviations, les positions des images accidentelles pour les directions convergentes de l'œil. Les objets de ces images avaient été placés au centre, parallèlement aux rayons marqués dans le champ visuel, de sorte que, pour des lignes visuelles parallèles, les images accidentelles seraient restées sur la direction de ces rayons. Les écarts sont le plus prononcés en *c* et en *d*; ils sont faibles et douteux en *f* et en *g*.

MM. Dastich et Mandelstamm, qui réussissaient fort bien les autres expériences de ce genre, ne purent trouver, pour leurs yeux, aucune influence de la convergence. Il y a donc de nouvelles recherches à faire pour déterminer l'étendue de cette influence sur les différents individus.

Il me paraît important de remarquer que mes yeux présentent une certaine variabilité de la torsion. La position primaire change un peu de hauteur d'un jour à l'autre, et elle varie même pendant le cours d'une série d'expériences. C'est surtout pour les directions périphériques du regard, qui demandent quelque effort, que je trouve parfois des positions sensiblement différentes dans des expériences consécutives, malgré le soin apporté à les exécuter dans des conditions aussi identiques que possible. Il ne faut donc pas s'attendre à trouver dans l'œil la même précision des mouvements que dans un appareil de physique, bien que, dans les conditions ordinaires, les yeux normaux suivent assez exactement les lois de Donders et de Listing.

Nous allons déterminer la part que prend chaque muscle de l'œil dans ses différents mouvements normaux. — Comme nous l'avons déjà vu plus haut (p. 40), le droit interne et le droit externe, en agissant seuls, font tourner l'œil autour d'un axe vertical; d'après les déterminations de Ruete, l'axe des rotations produites par les muscles droits supérieur et inférieur est horizontal, son extrémité nasale est plus en avant que l'extrémité temporale; il fait un angle de 70° environ avec la ligne de regard; l'axe relatif aux muscles obliques supérieur et inférieur est également horizontal, et forme un angle de 35° environ avec la ligne de regard, son extrémité temporale étant en avant. Les rotations que produisent, autour de l'axe vertical, les muscles droits interne et externe répondent à la loi de Listing; ces muscles peuvent donc agir isolément. Les rotations autour des autres axes ne répondraient pas, au contraire, à la loi de Listing. Si l'on veut obtenir, pour un mouvement de bas en haut, un axe de rotation horizontal dirigé de droite à gauche, il faut combiner l'action du droit supérieur avec celle de l'oblique inférieur;

pour un mouvement de haut en bas, il faut faire concourir le droit inférieur et l'oblique supérieur. Pour les petites rotations, une loi de mécanique bien connue permet de composer les axes de rotation d'après le principe du parallélogramme des forces, les côtés du parallélogramme représentant l'étendue de la rotation; on considère comme positives toutes les rotations qui, vues du centre, se font dans le sens direct (celui des aiguilles d'une montre), et comme négatives celles qui sont de sens contraire. La figure 158 représente une coupe horizontale de l'œil avec les axes de rotation; les extrémités des axes qui doivent être considérées comme positives sont désignées par les initiales des noms des muscles obliques supérieur et inférieur, droits supérieur et inférieur. De plus, sur l'axe horizontal *HB*, exigé par la loi de Listing pour les mouvements de bas en haut et de haut en bas, la lettre *H* désigne l'extrémité positive de l'axe relativement aux mouvements de bas en haut, et *B* celle pour les mouvements de haut en bas. Le dessin répond à l'œil gauche vu d'en haut : pour l'appliquer à l'œil droit vu d'en bas, il faut transposer les lettres *B* et *H*.

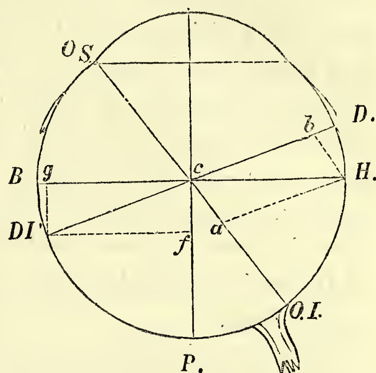


Fig. 158.

Si donc la longueur *cb* est proportionnelle à l'étendue de la rotation produite par le droit supérieur, *ca* à celle qui résulte de l'oblique inférieur, la diagonale *cH* du parallélogramme *cbHa* donne la direction de l'axe commun à ces deux actions, et sa longueur est proportionnelle à l'étendue de la rotation. On voit dans la figure que, dans la position que présentent les axes lorsque l'œil est dirigé en avant, l'axe de rotation résultant *BH* est plus rapproché de celui des deux muscles droits supérieur et inférieur que de celui des obliques. Il en résulte que le côté *bc* du parallélogramme est plus grand que le côté *ca*, c'est-à-dire que le muscle droit correspondant doit faire un plus grand effort que le muscle oblique qui agit en même temps. Mais lorsque l'œil se dirige en dedans, l'axe de rotation *BH* se rapproche de celui des muscles obliques, de sorte que ces muscles doivent faire proportionnellement plus d'efforts lorsque les yeux convergent que lorsque les lignes de regard sont parallèles. Pour comprendre qu'il en est ainsi, il faut remarquer que les muscles de l'œil ont une insertion assez large sur le globe oculaire, et que leurs fibres s'étendent même un peu en forme d'éventail. Il résulte de cette disposition qu'alors même que l'œil s'est nota-

blement éloigné de la position primaire, les axes de rotation relatifs aux différents muscles ne changent pas considérablement de position. Prenons pour exemple les droits supérieur et inférieur qui s'insèrent au-dessus et au-dessous de la cornée, à environ 7 millimètres du bord de cette membrane (en *m* et en *n*, pl. I, fig. 1); lorsque l'œil est tourné en dedans, les fibres des tendons de ces muscles qui se tendent le plus sont celles dirigées vers le bord externe de la cornée, parce que ce sont celles-là qui sont le plus allongées. Le fait est facile à constater sur une préparation du globe oculaire avec ses muscles. Le raccourcissement de ces muscles qui accompagne un mouvement en dedans a donc pour effet de ne laisser agir que les moitiés externes de leurs tendons. Lorsque l'œil est dirigé en dehors, ce sont, au contraire, les fibres internes des deux tendons qui agissent le plus. Ainsi la direction de la traction musculaire reste la même malgré le changement de position de l'œil.

Ces conclusions que nous venons de tirer de la disposition des muscles, sont confirmées par les observations qu'on a faites sur des paralysies morbides des différents muscles de l'œil. Si, par exemple, l'oblique supérieur de l'œil gauche est paralysé, le droit inférieur suffit pour attirer l'œil en bas. Mais la rotation autour de l'axe *DI* ne produit pas seulement la rotation nécessaire, suivant l'axe *cB*, correspondante à la longueur *cg* (fig. 158, p. 611), mais encore une rotation plus petite suivant l'axe *cP* et répondant à la longueur *cf*; cette dernière rotation est donc négative et, inversement, les objets du champ visuel paraissent tourner à droite, dans le sens des aiguilles d'une montre.

Pour les mouvements qui, partant de la direction primaire, vont obliquement en haut ou en bas, il faut le concours de deux composantes dirigées l'une suivant l'axe *BH* et l'autre verticalement. C'est ainsi que, pour exécuter un mouvement en dedans et en haut, il faut combiner l'action du droit interne, qui fait tourner l'œil en dedans autour de l'axe vertical, avec celle du droit supérieur et de l'oblique inférieur qui, réunis, le font tourner en haut autour de l'axe *BH*.

On comprend facilement les combinaisons de ce genre à l'aide de la figure 158; mais pour en avoir un aperçu plus commode, on a construit, sous le nom d'*ophthalmotropes*, des modèles rotatifs de l'œil qui seront décrits plus loin.

Outre les limites dont nous avons déjà parlé, relatives aux mouvements de chaque œil, les mouvements des deux yeux sont dans une certaine dépendance réciproque; de plus, l'accommodation dépend de la direction des yeux. Dans les circonstances ordinaires de la vision normale, nous

dirigeons toujours les deux lignes de regard sur un même point réel, situé devant nous, dans l'espace, à une distance plus ou moins grande. C'est en ce point, nommé *point de regard*, que se coupent les lignes de regard. Bien que chaque œil possède un système musculaire indépendant, ce qui entraîne la possibilité d'exécuter toute sorte de mouvements indépendamment de l'autre œil, nous n'avons cependant appris à exécuter en réalité que les mouvements nécessaires pour voir simple et nettement un point réel à l'aide des deux yeux. C'est ainsi que nous pouvons élever en même temps les deux yeux vers un point de regard élevé, ou les baisser simultanément pour voir un objet situé à nos pieds. Mais nous ne pouvons pas, par la volonté seule, lever un œil et baisser l'autre, position dans laquelle les lignes de regard ne se couperaient pas en un point de regard réel.

Nous pouvons, de plus, diriger les deux lignes de regard à droite ou à gauche pour voir un objet situé à droite ou à gauche. Nous pouvons aussi les faire converger en tournant à gauche celle de l'œil droit et à droite celle de l'œil gauche, lorsque nous choisissons un point de fixation rapproché. Mais on ne peut pas, sans s'y être exercé particulièrement, faire diverger les lignes de regard en dirigeant à droite celle de l'œil droit et à gauche celle de l'œil gauche.

Enfin, dans les yeux normaux, l'accommodation se conforme toujours à la distance où se trouve l'objet vers lequel convergent les lignes de regard. Pour le parallélisme des lignes de regard, les yeux sont accommodés pour l'infini ; lorsqu'elles convergent, l'accommodation se fait pour un point d'autant plus rapproché que la convergence est plus grande. Les yeux myopes sont, au contraire, accommodés pour leur *punctum remotum* tant que les lignes de regard convergent vers ce point ou vers un point encore plus éloigné. Pour des points de regard plus rapprochés, la convergence est en rapport avec l'accommodation. Les yeux extrêmement myopes ne peuvent même plus, sans le secours de lunettes, fixer avec les deux yeux ensemble en accommodant exactement.

La nécessité de combiner les mouvements des yeux et d'y proportionner l'accommodation, dans la vision normale, s'impose si fortement que des physiologistes anciens ont rangé ces mouvements dans la classe des synergies involontaires ; on peut cependant démontrer que la régularité de ces associations de mouvements n'est attribuable qu'à l'habitude. — Il faut remarquer en général que, dans tous les mouvements volontaires, notre volonté ne tend jamais qu'à atteindre un résultat extérieur nettement déterminé et perceptible par lui-même. Dans les mouvements des membres nous pouvons savoir, par le sens de la vue, quelle est la position que prend le membre par suite d'une certaine

action de la volonté ; aussi, pour ces parties de notre corps et pour toutes celles que nous pouvons percevoir par la vue et par le toucher, la position est-elle le but immédiat que nous attribuons aux effets de notre volonté. Pour les parties du corps, au contraire, que nous ne pouvons ni voir, ni sentir, ce n'est ni la position, ni le mouvement, mais le résultat du déplacement subi, que nous savons atteindre par l'action de notre volonté. C'est ainsi qu'avec une certitude et une adresse merveilleuses, nous nous servons de notre larynx et des parties qui constituent la bouche pour produire, dans le chant et dans la parole, les nuances les plus délicates de la hauteur et du timbre du son ; et cependant le vulgaire ne sait pas du tout, et le physiologiste ne sait que d'une manière très-imparfaite quels sont les mouvements que nous exécutons à cet effet. La volonté ne s'applique donc ici qu'au son que nous voulons produire et non aux mouvements des différentes parties du gosier ; nous avons appris à exécuter tous les mouvements du larynx nécessaires à cet effet, et nous n'en savons pas faire d'autres.

Il en est de même pour les yeux ; nous ne pouvons pas voir nous-mêmes leurs mouvements, à moins de nous mettre en face d'une glace ; nous ne pouvons également les sentir que d'une manière très-imparfaite. Mais en faisant mouvoir les yeux, nous percevons très-nettement le déplacement des images optiques sur la rétine, ou plutôt le mouvement correspondant du point de regard dans le champ visuel. C'est donc là le but vers lequel se dirige notre volonté, et c'est lui que nous savons atteindre volontairement. Si nous voulons faire tourner les yeux vers la droite à quelqu'un qui ne se soit pas encore rendu compte des mouvements de ses yeux, il ne faut pas lui dire : « Tournez les yeux vers la droite », mais « regardez cet objet situé à droite. » Et ceux même qui sont exercés dominent avec plus de certitude les mouvements de leurs yeux lorsqu'ils fixent un objet convenablement placé que lorsqu'ils veulent maintenir leurs yeux dans une certaine direction sans fixer d'objet. Je connais un physicien distingué, très-expérimenté et très-exercé en optique, auquel il est impossible, soit d'amener ses lignes visuelles en parallélisme sans avoir devant lui des objet très-éloignés, soit de dissocier les images doubles sans le secours d'un objet de fixation convenable, et qui, dès qu'il porte son attention sur ces images, éprouve une grande difficulté à les maintenir séparées. Je cite cet exemple, parce qu'il fait voir quel est l'état de l'œil naturel avec lequel on n'a pas encore fait d'expériences physiologiques, chez une personne qui n'a pas appris à se rendre compte des positions de ses yeux, malgré une connaissance parfaite de la théorie de la vision.

On voit donc que, dans l'usage de nos yeux, le but proposé à notre

volonté est de voir, successivement et le plus nettement possible, différents points du champ visuel avec les deux yeux ; but qui est atteint lorsque l'objet regardé se peint, dans les deux yeux, au centre de la *fovea centralis :* nous avons appris à diriger et à accommoder nos deux yeux de manière à obtenir ce résultat, mais nous n'avons pas appris à exécuter des mouvements des yeux pour lesquels notre volonté ne fût pas sollicitée par l'intention d'obtenir la vision la plus distincte.

Il me semble que c'est pour un motif analogue qu'il nous est plus facile d'amener nos lignes de regard en parallélisme ou même en divergence lorsque nous regardons en l'air, et de produire la convergence lorsque nous regardons en bas : cette disposition doit être un effet d'habitude dû à la position éloignée des objets que nous rencontrons généralement quand nous levons les yeux, et à la position rapprochée du sol, des objets que nous tenons à la main, etc., et que nous voyons en abaissant le regard.

En se familiarisant avec le genre d'effort volontaire qu'il faut faire pour obtenir les différentes positions de l'œil, considérées comme telles, celui qui fait beaucoup d'expériences d'optique physiologique apprend bientôt à donner à ses yeux de semblables directions normales sans la présence d'un point de fixation ; il remplace l'objet de fixation absent par un objet de fixation imaginaire. C'est ainsi qu'en se figurant l'existence d'un objet sur la région dorsale du nez, ou en faisant les efforts que nécessiterait la recherche d'un objet ainsi placé, on peut donner aux yeux une convergence assez forte pour qu'ils ressemblent à ceux d'un strabique. Inversement, on peut voir des objets très-rapprochés avec des lignes visuelles parallèles lorsqu'on cherche à regarder au loin à travers ces objets, ou lorsque, tourné vers ces objets, on « fait les yeux morts », c'est-à-dire qu'on affecte le genre de regard qui se produit ordinairement lorsque, plongé dans les réflexions, on ne fait pas attention aux objets qu'on a devant soi, position où l'effort d'accommodation se relâche, et où, la convergence disparaissant, les yeux prennent la disposition propre à la vision des objets lointains.

On peut encore attendre une faible divergence des lignes de regard, en passant de la position convergente à la position parallèle sans fixer un objet déterminé, et dépassant l'effort exigé par ce changement de direction.

Il est très-important, pour qui veut faire des recherches d'optique physiologique, de s'exercer à pouvoir donner, à tout instant, à ses lignes de regard, une direction convergente ou parallèle, sans le secours d'un point de fixation : il faut se rendre parfaitement maître de cette manœuvre.

Enfin, il est encore possible, dans une moindre mesure, il est vrai, d'obtenir, dans les positions des yeux, des combinaisons qui ne se présentent pas dans la vision ordinaire. A cet effet, il faut placer les yeux dans des conditions telles qu'on ne puisse obtenir des images simples et distinctes qu'en s'écartant des directions normales.

En ce qui concerne d'abord la relation qui existe entre la convergence et l'accommodation, elle se modifie aussitôt qu'on met des lunettes. Ainsi, une personne à vue normale qui met devant ses yeux de faibles verres concaves est forcée, pour voir distinctement des objets éloignés, d'accommoder pour plus près tout en maintenant le parallélisme des lignes de regard. Si les verres ne sont pas trop forts, les yeux se conforment immédiatement à ces conditions nouvelles, mais cette adaptation est accompagnée d'une sensation d'effort inaccoutumée et d'une prompte fatigue; c'est ainsi qu'en général l'usage des lunettes est toujours accompagné d'un effort sensible, dans les premiers temps, et qu'inversement les personnes qui portent lunettes depuis longtemps présentent, lorsqu'elles ôtent leurs verres, un regard pénible et pour ainsi dire effaré, même en présence d'objets pour lesquels elles peuvent accommoder. C'est un fait général que les mouvements compliqués qui exigent le concours d'un grand nombre de muscles, se font avec beaucoup moins d'efforts quand l'exercice nous a perfectionnés dans leur exécution. Qu'on se rappelle la violence des efforts auxquels se livrent un nageur ou un patineur inexpérimentés, et l'aisance que mettent dans ces exercices les personnes qui en ont une grande habitude. Il en est tout à fait de même des yeux, lorsque nous voulons en combiner les mouvements d'une manière insolite.

On peut encore modifier le rapport entre la convergence et l'accommodation en examinant des images stéréoscopiques dont on fait varier à volonté l'écartement. Nous y reviendrons par la suite.

On peut également produire la divergence des yeux, en examinant les images stéréoscopiques dont on augmente graduellement l'écartement tout en cherchant à maintenir la fusion en une seule image. De cette manière, je puis atteindre une divergence de 8 degrés. On peut encore produire le même effet en tenant devant les yeux deux prismes en verre égaux, et faiblement réfringents, dont l'angle réfringent, de 6 à 8 degrés, ait son sommet en bas et à travers lesquels on regarde des objets éloignés. Dans cette position des prismes, les lignes visuelles doivent être parallèles et un peu plus abaissées que sans les prismes. Si l'on fait tourner lentement les prismes de manière à amener graduellement leurs bords réfringents dans une position externe, on parvient à maintenir la fixation binoculaire et la vision simple des objets, ce qui

exige une divergence des yeux. On peut obtenir le même résultat avec un seul prisme; on le tient devant un œil avec l'angle réfringent en dehors, et l'on regarde d'abord des objets rapprochés qui exigent encore, malgré le prisme, une convergence plus ou moins grande des lignes de regard; puis on passe graduellement à des objets plus éloignés, qui exigent une divergence de plus en plus grande.

Enfin Donders a remarqué, ainsi que moi, et bien d'autres sans doute, qu'on peut obtenir une élévation différente des deux yeux, en mettant devant un œil un prisme faiblement réfringent dont le sommet soit d'abord tourné en dedans. La vision des objets éloignés exige alors une légère convergence des lignes visuelles, qui s'obtient sans difficulté. Puis on fait tourner très-lentement le prisme de manière à donner à son arête réfringente une position de plus en plus inférieure, et l'on cherche àm aintenir la fixation de l'objet. On y parvient après un peu d'exercice. Dans ce cas, l'œil libre voit directement l'objet; l'autre doit, au contraire, se tourner notablement en bas pour le fixer. Après avoir obtenu une semblable position des yeux, qu'on enlève brusquement le prisme, et l'on voit aussitôt deux images de l'objet, dont la différence de hauteur décèle l'élévation différente des deux lignes de regard. Dans la direction de haut en bas, je puis également, sans difficulté, obtenir une déviation de 6 degrés.

On conçoit que si l'on avait la patience de continuer des exercices de ce genre avec assiduité, pendant des semaines et des mois, on obtiendrait des déviations relativement énormes. C'est ce qui se produit, en effet, chez les strabiques qui se soumettent à des exercices tels qu'ils ont été proposés dans ces derniers temps, en particulier par E. Javal, pour la guérison de leur infirmité.

Il résulte de ces faits que la relation qui existe entre les mouvements des deux yeux n'est pas commandée par un mécanisme anatomique, mais qu'elle se modifie, au contraire, sous l'influence de notre volonté; la seule limite réside dans le fonctionnement de notre volonté que nous ne savons pas appliquer à un but autre que celui de voir les objets simples et nettement.

J'ai déjà appelé, il y a quelque temps, l'attention sur certaines circonstances qui prouvent le même fait et qui m'ont été confirmées par d'autres observateurs. — Si les mouvements de l'œil étaient coordonnés par un mécanisme anatomique, on devait s'attendre à ce que ce mécanisme fût plus insurmontable dans l'état de somnolence, où l'énergie de la volonté est diminuée. Cependant, lorsque je suis pris de sommeil en lisant, ou qu'après un long dîner je m'efforce de garder les yeux ouverts par respect pour la compagnie, j'observe constamment l'appari-

tion d'images doubles qui indiquent tantôt une trop grande divergence, tantôt une différence de hauteur, tantôt des torsions irrégulières des yeux. Dès que, prévenu par l'apparition de ces images insolites, je viens à secouer ma torpeur, les images doubles se fusionnent ordinairement aussitôt; quand je parviens ensuite à les dissocier par un effort volontaire, je ne reproduis plus que les images doubles juxtaposées qui proviennent d'une convergence trop forte ou trop faible (1).

La même nécessité qui relie les mouvements des yeux entre eux, et avec l'accommodation, existe aussi sous le rapport de la torsion relative à chaque position du point visuel, et l'on pouvait présumer d'avance que cette rotation n'est soustraite à notre volonté que parce qu'en la modifiant nous n'obtenons aucun résultat pratique et perceptible. J'ai réussi depuis peu à démontrer directement l'exactitude de cette supposition. On peut, en effet, modifier la torsion d'une manière très-sensible, lorsqu'on met les yeux dans des conditions telles qu'on ne puisse voir simple sans modification de l'angle de torsion.

A cet effet, je me sers de deux prismes en verre rectangulaires et isocèles. — Lorsqu'on regarde à travers un pareil prisme, parallèlement à l'hypoténuse, comme on le voit dans la figure 159, le rayon *ab* est réfracté et dévié vers l'hypoténuse au point où il pénètre dans le prisme, il se réfléchit sur l'hypoténuse en *c*, sous un angle égal à celui de son incidence sur cette surface, et il émerge du prisme en *d*. Si *b* et *d* sont à égale distance de l'hypoténuse, le rayon *ab* reprend, en émergeant du prisme, sa direction primitive. Mais les rayons qui, comme *ab'* et *ab''*, ne pénètrent pas parallèlement à l'hypoténuse et s'y réfléchissent en *c'* et *c''* après leur réfraction, émergent de telle façon que le rayon incident *ab'* ou *ab''*, et le rayon émergent *d' e'* ou *d'' e''*, forment des angles égaux avec l'hypoténuse. Un prisme de ce genre agit donc, dans ces conditions, comme un miroir; seulement il présente cet avantage que la position où apparaît la partie moyenne de l'image réfléchie ne varie pas. Lorsque l'observa-

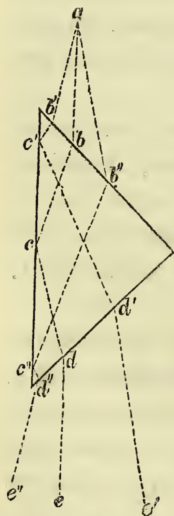


FIG. 159.

(1) E. HERING, dans ses Beiträge zur Physiologie, 4 Heft, p. 274, a mis en doute l'exactitude de cette observation. Il n'a évidemment pas vu le phénomène dont il s'agit. La remarque par laquelle je viens de conclure prouve que je n'ai pas commis l'erreur qu'il m'attribue, et que la moindre habitude dans l'observation des images doubles suffit pour éviter : il suppose en effet que la différence de hauteur observée provenait simplement d'une position inclinée de ma tête. — Cf. W. HENKE, Die Stellung der Augen beim Einschlafen und Aufwachen, in *Arch. für Ophth.*, 1864, X, 2, p. 181-184.

teur regarde à travers le prisme suivant la direction *ab*, il voit des images symétriques des objets placés de l'autre côté.

Si l'on fait passer de la même manière, par un second prisme, le rayon *d e* réfléchi par le premier, tant que les hypoténuses des deux prismes sont parallèles, le renversement des images, qui a été produit par le premier prisme, est détruit par le renversement analogue que donne le second. Vus à travers deux prismes ainsi disposés, tous les objets paraissent non modifiés. Mais si l'on altère un peu le parallélisme des hypoténuses des deux prismes en faisant tourner un peu l'un d'eux autour d'un axe parallèle au rayon *ae*, comme dans la figure 160, le renversement produit par le premier prisme n'est pas complétement annulé par le second; il reste encore une petite rotation des objets autour du rayon non réfracté *ae*, rotation double de la rotation relative des deux prismes. Du reste, si l'on fait tourner le système tout entier autour du rayon non dévié, cela ne fait éprouver aucune altération à la position apparente des objets.

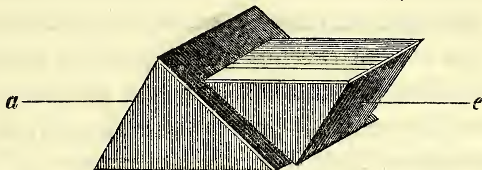


FIG. 160.

Si l'on place devant un œil une semblable combinaison de deux prismes qui fasse subir aux objets une rotation de 5 degrés environ autour de la ligne visuelle, regardant avec les deux yeux des objets éloignés qui présentent une grande variété de parties diversement visibles, on voit d'abord, comme on doit s'y attendre, des images doubles des objets, qui se croisent entre elles et qui attirent facilement l'attention. Mais si l'on continue à observer les objets en promenant constamment le regard sur les points les plus saillants, qu'on peut tous voir simples successivement, les images doubles finissent par disparaître, et l'on voit des images complétement simples tout aussi bien que dans la vision ordinaire. Après avoir vu simple, de cette manière, pendant quelques minutes, si l'on vient à enlever le système de prismes, les deux yeux regardant librement, on aperçoit aussitôt des images qui se croisent, mais qui ne tardent pas à se fusionner.

Si l'on objectait que les images doubles pourraient bien ne pas se fusionner, l'une d'elles échappant seulement à l'attention, il suffirait, pour montrer qu'il n'en est rien, de tenir verticalement à quelque distance des objets une baguette qui paraît alors double ; les deux images de la baguette ne présentent l'une par rapport à l'autre que la faible obliquité ordinaire qui répond à celle des méridiens verticaux appa-

rents ; on voit donc que les méridiens horizontaux de la rétine sont disposés derrière les prismes de manière à recevoir des images respectivement égales.

J'ai obtenu un second contrôle en développant dans mes deux yeux, pendant l'expérience, des images accidentelles d'une bande horizontale, et les projetant ensuite sur une surface blanche, après avoir enlevé les prismes. Au premier moment, les images accidentelles correspondant aux deux yeux présentaient alors des inclinaisons différentes par rapport à une seule et même ligne objective du champ visuel ; mais dès que les yeux étaient revenus à leur position naturelle, les deux images accidentelles présentaient la même position. C'est ainsi qu'en employant une ligne objective horizontale pour développer les images accidentelles et armant l'œil d'un double prisme qui faisait tourner de 5 degrés à gauche, après suppression des prismes et retour des yeux à leur position normale, leur image accidentelle commune était un peu tournée à gauche, d'où il résulte que, pendant l'emploi du prisme, l'œil gauche était un peu tourné à droite, tandis que l'œil droit, ayant suivi la rotation apparente du champ visuel, était tordu à gauche. Les images accidentelles des deux yeux s'étant formées sur des parties correspondantes, on voit que l'image primitive était aussi reçue sur des parties correspondantes des deux rétines.

Il résulte de ces expériences que les torsions de l'œil peuvent aussi être modifiées dans des circonstances particulières, à savoir lorsque des torsions anormales sont nécessaires pour éviter de voir se croiser les images des objets d'un champ visuel étendu et riche en détails. La plus grande torsion du champ visuel que j'aie pu suivre des yeux, dans ces expériences, était de 7 degrés. Probablement la torsion était égale et en sens inverse pour les deux yeux; elle était donc, pour chaque œil d'environ $3° \, {}^1/_2$. La position anormale des yeux ne se produit pas immédiatement, à l'aspect du croisement des images doubles; il faut une succession de mouvements correspondants des deux yeux auxquels on fait parcourir le champ visuel dans toutes les directions, sans cesser de maintenir l'unité du point de fixation.

D'après une communication que je reçois de E. Javal, chez les strabiques, les déviations latérales sont généralement accompagnées de différences de hauteur et de torsions irrégulières, que le stéréoscope permet de mesurer pratiquement avec facilité ; quand les exercices ont rétabli la fixation binoculaire, les torsions se régularisent le plus souvent d'elles-mêmes.

Ces expériences sur les muscles de l'œil ont une grande importance pour l'étude de la nature volontaire des mouvements en général. On se

figure ordinairement que nous avons reçu de la nature la faculté d'exécuter des mouvements volontaires déterminés, et qu'il n'est pas nécessaire de nous y exercer, sauf dans les cas comme la marche, la course sur les échasses, le patinage, la natation, où il faut conserver un équilibre artificiel dans les mouvements, ou bien où il faut tenir compte d'autres forces naturelles. En réalité, il est également nécessaire, pour d'autres mouvements, d'apprendre à y appliquer les actes volontaires qu'ils exigent. Même parmi les mouvements des membres dont l'usage est le plus facile, tels que ceux des membres supérieurs, il en est dont l'exécution exige un exercice préalable. C'est ainsi qu'on peut faire tourner, dans l'articulation de l'épaule, le bras tendu horizontalement, et qu'on peut faire tourner le radius et la main autour du cubitus. Ces deux rotations s'exécutent à l'aide de groupes de muscles qui sont tout à fait indépendants l'un de l'autre; mais nous ne sommes habitués qu'à exécuter ces deux rotations dans le même sens, parce que, dans les circonstances ordinaires, nous n'avons d'autre but que de mettre la main dans la pronation ou dans la supination. On peut se proposer d'exécuter ces deux rotations en sens opposé, de manière à faire tourner le coude en laissant la main immobile. C'est là une sorte de mouvement qui n'a aucun but pratique et que, pour cette raison, on n'exécute jamais dans les conditions ordinaires : aussi n'ai-je encore rencontré personne qui ait pu y réussir à la première sommation. Cependant ce mouvement est aussi possible à apprendre que les mouvements anormaux de l'œil. Il suffit de saisir avec la main un objet fixe et de tourner le coude, puis de lâcher graduellement l'objet; on parvient bientôt à faire le même mouvement sans avoir besoin de fixer la main. Cet exemple nous offre donc, comme plus haut, relativement à la production volontaire des combinaisons de mouvements, un obstacle qui paraît d'abord insurmontable et dont on peut cependant venir à bout par un exercice convenablement combiné.

Nous avons maintenant à rechercher quelles sont, dans l'exercice des mouvements de l'œil, les causes pour lesquelles les différentes positions des deux lignes visuelles entraînent toujours des torsions déterminées.

Quant à la loi de Donders, d'après laquelle l'angle de torsion dépend seulement de la direction actuelle des lignes visuelles, on conçoit aisément qu'elle donne une facilité et une sûreté bien plus grandes pour nous assurer de l'état de repos d'un corps malgré les mouvements des yeux et les déplacements des images sur la rétine. Nous faisons errer continuellement notre regard dans le champ visuel, parce que c'est le

seul moyen de voir avec le plus de netteté possible toutes les parties de ce champ. Pour les voir avec les deux yeux, le plus distinctement possible, il nous faut d'abord diriger les yeux, exactement accommodés, sur le point qui occupe notre attention. Cela fait, les yeux pourraient encore tourner d'une manière quelconque autour de leurs lignes visuelles comme axes, sans cesser de fixer simultanément le point en question. Si nous parcourons ainsi un champ visuel rempli d'objets immobiles, le déplacement du regard fait varier d'une manière continue les sensations produites dans les différentes fibres nerveuses de la rétine. Quand nous fixons à deux reprises un objet *A*, si cette fixation n'était pas accompagnée, les deux fois, d'un même mouvement de torsion, l'impression du point fixé serait, sans doute, la même les deux fois sur chaque *fovea*, mais les images rétiniennes des points environnants prendraient des positions différentes sur la rétine et les fibres nerveuses qui entourent la *fovea* recevraient des impressions tout autres ; pour constater que l'objet est resté le même malgré cette modification du système de sensations, il faudrait remettre l'œil tout à fait dans sa position primitive, même sous le rapport de la torsion, afin de vérifier si la reproduction de la disposition première est accompagnée aussi de la sensation primitive.

Comme il ne sert, en général à rien, dans la vision naturelle, de modifier la torsion pour reconnaître un objet, et qu'il suffit du retour à une certaine position déterminée pour reconnaître qu'un objet est réellement en repos, nous nous habituons, dès le commencement, à accompagner toujours d'un degré de torsion déterminé, une direction déterminée des lignes visuelles.

Avec un exercice suffisant dans la connaissance des modifications que fait subir aux sensations de la rétine la torsion de l'œil autour de la ligne de regard, il serait assurément possible de constater l'immobilité des objets malgré les modifications de l'image rétinienne. Mais ce serait là une complication nouvelle et considérable dans l'exercice de notre œil aux perceptions visuelles, et, comme elle ne serait accompagnée d'aucun avantage, nous l'évitons tout d'abord (1).

Ce principe, que j'ai nommé *principe de la plus facile orientation*,

---

(1) J'avais été plus loin (*Archiv für Opthalm.*, 1863, IX, 2, p. 156-157) en disant que la constance de la torsion permettait d'apprécier exactement de la position des objets dans l'espace. E. Hering a objecté que les mouvements de torsion de l'œil gênaient, en général, l'appréciation des positions. Ainsi qu'on le verra dans le paragraphe suivant, cela est vrai dans certains cas, mais dont le nombre est beaucoup plus restreint que ne le croit Hering ; c'est pour ce motif que, dans l'exposition qu'on vient de lire, j'ai laissé de côté l'orientation par rapport à la position véritable des objets et que je n'ai parlé que du point essentiel, c'est-à-dire, de la facilité de reconnaître l'immobilité des corps en repos.

pour les positions de repos de l'œil exige immédiatement que toute direction déterminée des deux lignes visuelles entraîne avec elle des valeurs déterminées de l'angle de torsion des deux yeux, mais les valeurs de cet angle ne sont pas encore déterminées.

Jusqu'ici, nous n'avons considéré que le cas où l'on observe *directement* deux fois de suite le même objet ; il faut encore qu'on reconnaisse l'immobilité d'un objet lorsqu'on passe du regard *direct* au regard *indirect*.

Faisons d'abord cette recherche pour un seul œil fonctionnant isolément ; nous verrons ensuite quelles sont les modifications qu'y apporte l'adjonction d'un second œil. Nous nous bornerons, de plus, au cas de déplacements infiniment petits de l'œil ; car si l'on reconnaît l'immobilité d'un objet pendant les déplacements infiniment petits qui ont lieu pour les parties infiniment petites du temps où se produit un mouvement plus étendu, on la reconnaît également lorsque le mouvement entier est accompli.

Désignons par a, b, c, d, etc., différents points de la rétine ; soit a le centre de la *fovea*. Nous désignerons par A, B, C, D, etc., les points de l'image qui se peignent sur ces points de la rétine. La fixation se faisant pour le point A de l'image, supposons qu'entre B et A et, par conséquent, entre b et a, il n'y ait qu'une distance infiniment petite. Supposons maintenant que le regard passe de A en B, de telle sorte que B se représente sur le centre a de la rétine. Les points A, C, D, etc., de l'image, viennent alors en d'autres points de la rétine, que nous nommerons α, γ, δ, etc. Ainsi, tandis que la sensation qu'éprouvait b passe en a, celles de a, c, d, etc., passent respectivement en α, γ, δ, etc. Si donc nous voyons se reproduire le même système de modifications dans nos sensations, toutes les fois que, par un mouvement volontaire, nous faisons passer en a la sensation qui s'était manifestée en b, nous apprenons à considérer cet ensemble de modifications comme l'expression sensuelle d'un mouvement de l'œil auquel ne répond aucune modification des objets. La vérification consisterait en ce qu'en fixant de nouveau A, nous retrouverions intact le premier système de sensations. Mais il nous importe d'apprendre, même sans faire cette vérification, que la modification qui a accompagné la fixation de B ne répond pas à une modification de l'objet.

Or pour que, toutes les fois que la fixation passe au point du champ visuel qui répond au point rétinien b, les points α, γ, δ, etc., reçoivent en même temps les images qui étaient précédemment en a, c, d, etc., il est nécessaire que l'œil exécute toujours ce mouvement en tournant

autour d'un seul et même axe qui ait une position fixe par rapport au globe oculaire, et que nous nommerons 𝔅.

Mais b n'est qu'un seul des points rétiniens voisins de a; soit c un autre de ces points, situé à une distance infiniment petite de a et dans une autre direction que b; il faut qu'il existe un second axe de rotation ℭ qui ait une position fixe dans le globe oculaire, et relatif aux déplacements du regard dans la direction ac, si ce déplacement doit toujours être accompagné d'un même déplacement de l'image sur la rétine, d'un même système de modifications de la sensation.

Cela posé, le regard peut atteindre tout autre point F du champ visuel, très-voisin du point de fixation A, au moyen de deux rotations déterminées et infiniment petites faites successivement autour des axes 𝔅 et ℭ. Mais on sait que, pour des rotations infiniment petites, on peut composer les axes de rotation par la construction du parallélogramme des forces, et que la diagonale des axes 𝔅 et ℭ doit toujours se trouver dans le plan mené par 𝔅 et par ℭ; il en résulte que le mouvement exigé pour regarder le point F peut s'obtenir par la rotation autour d'un seul axe situé dans le plan 𝔅ℭ tout aussi bien que par deux rotations successives autour de 𝔅 et de ℭ. Et comme, d'après la loi de Donders que nous venons de chercher à établir, quel que soit le chemin suivi par le regard pour arriver en F, l'œil doit toujours atteindre la même position, il s'ensuit que le passage du regard de A en F ou en tout autre point infiniment voisin de A, peut toujours se faire par une rotation du globe autour d'un seul et même axe, toujours situé dans un seul et même plan 𝔅ℭ, dont la position est fixe par rapport à l'œil. Telle serait donc la condition pour que tout déplacement infiniment petit du regard soit toujours accompagné d'un système constant de modifications dans les sensations des fibres nerveuses visuelles, système de modifications qu'on apprend finalement à considérer comme l'expression sensuelle du mouvement de l'œil, relatif à ce déplacement du regard (1).

Les axes de rotation, pour tous les déplacements très-petits de l'œil, qui partent d'une position déterminée, doivent tous être situés dans un

(1) M. E. Hering a cherché à démontrer que cette déduction n'est pas juste (p. 274-283 de ses Beiträge zur Physiologie). C'est encore le résultat de la manière, déjà signalée plus haut, dont il a compris le premier principe, en y considérant comme principal un point accessoire. Il considère le second principe comme superflu à côté du premier, ce qui est une erreur. En effet, le premier principe veut seulement qu'on reconnaisse l'immobilité d'un objet au repos, toutes les fois que la ligne de regard revient à la *même* position; le second permet de constater ce repos alors même que la ligne de regard prend une position *différente*. Hering prouve, de plus, que le second principe, appliqué sans le premier peut conduire à des absurdités. Mais je n'ai jamais appliqué le second principe que comme complément du premier, et l'on comprend parfaitement qu'on ne peut pas l'appliquer autrement. J'espère avoir exposé cette fois mes idées avec plus de précision, de manière à ne plus donner lieu à malentendu.

seul et même plan ; comme nous le verrons plus loin dans le calcul, cette proposition s'applique immédiatement à toutes les parties du champ de regard, lorsque le mouvement de torsion est une fonction continue de la direction de la ligne de regard. D'après le principe de l'orientation la plus facile, ce plan doit avoir, autant que possible, une position fixe relativement au globe oculaire.

C'est donc lorsque, indépendamment de la position primitive de l'œil, le passage du regard au point du champ visuel qui répond au point rétinien b est toujours accompagné du même déplacement de l'image rétinienne sur la rétine, qu'il sera le plus facile d'assigner leur cause véritable aux modifications de la sensation qui accompagnent les mouvements de l'œil. Il faudrait un exercice bien plus compliqué pour reconnaître toujours l'immobilité d'un objet, quand même le déplacement de l'image rétinienne se présenterait d'une manière différente pour des points de départ différents. Cependant nous ne pourrions pas déclarer *à priori* que cette accoutumance serait impossible ; comme nous le verrons, l'expérience montre qu'elle n'existe pas.

En effet, l'œil humain ne remplit pas exactement la condition que nous venons d'établir pour l'orientation la plus facile dans la vision indirecte, et, comme nous le verrons par l'étude analytique du problème, cette condition ne peut être complétement remplie, sinon pour un champ dont l'étendue serait infiniment petite par rapport au rayon de la sphère. On a déjà vu plus haut que, d'après la loi de Listing, les plans des axes de rotation prennent dans l'œil des positions différentes pour les différentes positions de la ligne de regard. Il résulte de là certaines illusions de la vue qui sont surtout faciles à observer sur des objets très-éloignés dont on ne connaisse pas la position véritable, ainsi que cela se présente en particulier pour les astres (1).

Cherchons sur le ciel trois étoiles suffisamment brillantes, éloignées les unes des autres et situées à peu près suivant une ligne droite horizontale. Supposons qu'elles paraissent être absolument en ligne droite, lorsqu'on lève la tête de manière que la position primaire des lignes visuelles soit dirigée sur l'étoile du milieu. Ces mêmes étoiles paraissent former une ligne courbe à concavité inférieure, si on les parcourt du regard en baissant la tête, ce qui force à lever les yeux davantage ; elles paraissent disposées sur une ligne dont la concavité regarde vers en haut, si l'on rejette, au contraire, la tête en arrière, de manière qu'il faille baisser davantage les yeux pour regarder les trois étoiles. C'est dans

(1) Dans l'expérience que j'avais décrite autrefois à ce sujet, la convergence des yeux exerce une influence particulière dont il sera question dans le prochain paragraphe.

les mouvements de torsion de l'œil qu'il faut chercher la cause de ces illusions. Lorsqu'on regarde celle des étoiles qui est située le plus à droite, avec les yeux dirigés fortement en l'air, les horizons rétiniens présentent, par rapport à la ligne de visée, une torsion qui relève leur extrémité située à droite : l'extrémité correspondante de la ligne d'étoiles paraît alors abaissée ; il en est de même de l'extrémité gauche lorsqu'on regarde l'étoile qui est à gauche ; la concavité de la ligne entière est donc tournée en bas ; le contraire a lieu lorsqu'on abaisse le regard.

On peut encore comparer l'inclinaison qui paraît présenter, par rapport à l'horizon, une ligne d'étoiles telle que celle qui forme la queue de la grande Ourse, lorsqu'on donne successivement à la tête deux positions telles que les yeux doivent s'élever tantôt à droite, tantôt à gauche. On trouve que l'extrémité supérieure de cette ligne d'étoiles se dévie à gauche, dans le premier cas, et à droite dans le second, c'est-à-dire qu'elle se rapproche toujours du plan médian de la tête.

Dans ces exemples, il ne s'agit pas de déterminer d'une manière absolue la position verticale ou horizontale des lignes d'étoiles dans l'espace : avec l'indétermination de la forme de la voûte céleste imaginaire, cette recherche ne peut présenter aucun caractère déterminé. Il s'agit seulement de constater si la direction que présentent les images varie ou non avec les différentes directions que l'on donne au regard; et ces expériences montrent que, lorsque nous donnons aux yeux des directions fortement périphériques, nous formons des jugements discordants sur la position des objets dans le champ visuel, ou même sur la forme du champ visuel. Mais, ainsi que nous l'avons vu, il est impossible, dans un champ étendu, d'éviter complétement les mouvements de torsion des yeux qui produisent de semblables contradictions ; tout ce qu'on peut demander, c'est donc que les rotations choisies pour les différentes directions de la ligne visuelle soient telles que la somme des erreurs qu'elles provoquent dans l'orientation soit aussi petite que possible.

Pour que le second principe fût entièrement satisfait, il faudrait que, dans toutes les directions de la ligne de regard, le plan des axes de rotation eût toujours la même position dans le globe oculaire. Dans ce cas, la rotation n'aurait jamais de composante dont l'axe se confondrait avec la perpendiculaire au plan des axes de rotation, perpendiculaire que j'ai proposé d'appeler la *ligne atrope* de l'œil. Il faudrait donc considérer comme une faute toute rotation autour de cette ligne atrope, dont la position dans l'œil est encore indéterminée. La condition exigée par le second principe peut donc être formulée ainsi : *Pour tous les mouvements infiniment petits de l'œil*, *la somme des carrés de ces erreurs doit être un minimum.* Il faut prendre ici les carrés des erreurs,

d'après la méthode des plus petits carrés, pour la même raison que dans les éliminations des erreurs.

Voici ce qui résulte de l'étude analytique que nous donnerons plus loin de ce problème : Pour que la somme des erreurs soit un minimum, la ligne atrope doit coïncider avec la ligne de regard, quelle que soit la forme du champ ; mais la distribution des torsions dépend, en général, de la forme du champ. C'est dans un champ circulaire que la loi de Listing répondrait de la manière la plus complète aux conditions du problème, et cela pour une position primaire répondant au centre de ce champ. Lorsque le champ n'est pas exactement, mais approximativement circulaire, la loi de Listing éprouverait des aberrations vers le bord du champ ; mais ces aberrations sont restreintes à cause de la rareté de ces positions périphériques du regard, et parce que nous cherchons, à ce qu'il paraît, à éviter les mouvements de l'œil dont la direction soit parallèle au bord du champ de regard et qui produiraient des mouvements apparents des objets.

On voit donc par là que les mouvements de l'œil, tels que les demande la loi de Listing, sont les plus avantageux pour l'orientation, pour un seul œil et un champ de regard circulaire.

Mais nous faisons usage de deux yeux qui présentent des positions tantôt parallèles et tantôt convergentes. Le principe de la plus facile orientation pour les objets en repos exige seulement que les torsions des yeux soient toujours les mêmes pour les mêmes directions des *deux yeux*, et en réalité nous trouvons, pour la convergence, des torsions un peu autres que pour le parallélisme. Mais pour la vision normale, le parallélisme ne se présente, en général, que dans les parties du champ visuel qui contiennent ordinairement des objets très-éloignés ; ce sont les parties supérieures de ce champ.

Les parties inférieures du champ visuel contiennent presque exclusivement des objets rapprochés ; le plus éloigné de ces objets est le sol. La fig. 161 représente le champ visuel commun à mes deux yeux pour la disposition parallèle : a est la position primaire de l'œil regardant au loin ; la longueur de la flèche ac indique, à la même échelle, la distance

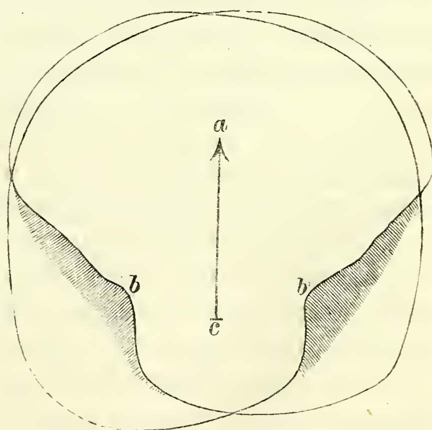


Fig. 161.

qui sépare l'œil du tableau sur lequel se projette le champ; les yeux présentent, dans ce cas, la direction de la perpendiculaire élevée en *a*. En bas, le champ visuel de chaque œil est rétréci à la partie interne par le nez, *bb* sur la figure; la partie hachée indique les points que je puis encore fixer sur la partie dorsale du nez. Cette région inférieure, qui est en partie masquée par l'image double du nez, et celle située entre ces images, ne peuvent presque pas servir pour la position parallèle des yeux; cette disposition parallèle est aussi plus difficile à obtenir que pour la partie supérieure du champ. Nous pouvons donc limiter à peu près par une ligne qui joindrait les deux points *bb* la partie du champ de regard accessible pour des lignes visuelles parallèles; le champ qui reste ainsi est à peu près circulaire, et je trouve effectivement que la loi de Listing s'applique à ce cas et que la direction primaire *a* est au centre de ce champ visuel. Du reste, les champs de mes deux yeux ne sont pas tout à fait symétriques; mon œil gauche peut regarder plus loin en bas et en dehors que mon œil droit.

Dans les directions convergentes, les yeux se dirigent d'abord en dedans, précisément à cause de la convergence, puis ils se portent le plus souvent en bas. Dans les parties supérieures du champ visuel, il est relativement très-rare que nous ayons à examiner des objets rapprochés; aussi ne sommes-nous pas en état d'y produire une convergence aussi forte qu'en regardant en bas. Nous devons donc nous attendre, pour les positions convergentes, à voir les résultats s'écarter de la loi des mouvements relative aux directions parallèles, de la même manière que si la position primaire était plus bas et plus en dedans que pour le parallélisme : les aberrations indiquées par la figure 157 (p. 609) sont en effet de cette nature. L'étendue de ces aberrations dépend sans doute aussi de la fréquence et du degré de la convergence habituelles à chacun, et pour les yeux myopes qui regardent principalement en convergeant, les particularités de ces convergences devront continuer à se faire sentir dans les positions parallèles, plus rarement employées.

En essayant ainsi de déduire des besoins de la perception la loi des mouvements de l'œil, nous devions naturellement faire abstraction de toute connaissance et de toute estimation des longueurs et des angles du champ visuel apparent, et même de notre connaissance de la disposition des points rétiniens sur la rétine; en effet, dès qu'on ne considère pas cette connaissance comme innée, elle ne peut être acquise que par les mouvements de l'œil. Ces mouvements et ces connaissances doivent, en réalité, se développer de pair, et, pour cette raison, il ne faut pas considérer la loi des rotations comme se développant en réalité, pendant la première enfance, exactement suivant la manière que nous

avons signalée. Tout ce que peut faire, sous ce rapport, la théorie des perceptions visuelles, c'est de démontrer que les perceptions visuelles et les mouvements de l'œil ne présentent rien que nous n'ayons pu acquérir par l'expérience et par l'exercice, en nous efforçant de reconnaître les objets du monde extérieur avec le plus de précision et de certitude possible. Dans cette analyse, nous sommes naturellement forcés de décomposer la manière dont se fait notre éducation en différents temps qui ne sont pas séparés, en réalité, dans le désordre varié sous lequel se présentent à nous les diverses impressions sensuelles.

A. Fick et Wundt ont considéré les mouvements de l'œil comme réglés par ce principe qu'on associerait toujours, à chaque position de la ligne de regard, la torsion qui exigerait le moindre effort musculaire. Nous étudierons plus loin, en détail, l'application de ce principe. Il est probablement satisfait en réalité dans les mouvements normaux que l'œil présente effectivement. Cependant je n'ai pas cru devoir considérer ce principe comme déterminant, car on peut démontrer qu'un effort volontaire peut donner à l'œil les dispositions les plus convenables à la vision, et que les muscles sont, en général, assez susceptibles de modification pour que ceux dont on exige les plus grands efforts deviennent aussi bientôt les plus puissants. Cependant on ne peut guère nier que, lorsque l'appareil musculaire de plusieurs générations consécutives s'est adapté aux besoins des individus, et que sa disposition s'est transmise de génération en génération, les torsions les plus convenables de l'œil doivent être devenues en même temps les plus faciles à exécuter, et cette circonstance doit faciliter singulièrement leur production. Toutefois les expériences indiquées plus haut nous ont montré qu'on ne choisit pas, à la longue, les mouvements de l'œil les plus faciles, lorsqu'ils ne sont pas, en même temps, les plus avantageux pour la vision.

Les mouvements de la tête sont soumis à des lois analogues à celles qui régissent ceux des yeux. — Aubert a déjà remarqué que si, pendant qu'on fixe un point déterminé d'une ligne droite horizontale ou verticale, on incline brusquement la tête vers l'une des épaules, ce qui fait exécuter un mouvement de rotation à l'image rétinienne, la ligne paraît se mouvoir pendant le mouvement de la tête, ou bien on éprouve tout au moins de l'incertitude pour décider s'il y a eu rotation ou non.

Les mouvements ordinaires de la tête se font, du reste, d'après le même principe que ceux de l'œil. L'articulation occipitale se compose de deux articulations : celle de l'os occipital avec la première vertèbre cervicale, ou atlas, et celle de l'atlas avec la seconde vertèbre cervicale. La première de ces articulations permet une rotation autour d'un axe

horizontal et transversal, et, dans une faible étendue, une rotation autour d'un axe horizontal antéro-postérieur; la seconde articulation ne présente qu'un axe de rotation vertical. Par conséquent, les deux articulations permettent des rotations modérées autour d'un axe situé dans une position quelconque. La mobilité de la partie supérieure de la colonne vertébrale facilite encore les divers mouvements. Lorsqu'on veut tourner fortement le regard à droite ou à gauche, la tête tourne autour d'un axe vertical dans l'articulation inférieure ; lorsqu'on regarde directement en haut ou en bas, la tête tourne autour de l'axe horizontal et transversal qui passe par les deux condyles de l'os occipital; mais si l'on dirige la face obliquement en haut et à droite, la tête tourne, comme l'œil, autour d'un axe allant d'en haut à droite, vers en bas à gauche, de manière que le côté droit de la tête vient à se trouver plus haut que le côté gauche. Lorsque le regard se dirige, au contraire, en bas et très à droite, le côté droit de la tête vient plus bas que le côté gauche. Ces rotations sont donc de même genre que celles de l'œil, mais elles sont bien plus dans la dépendance de notre volonté.

ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE GÉNÉRALE DES ROTATIONS.

Systèmes de coordonnées. — Qu'on se figure une sphère terrestre ordinaire, mobile autour d'un axe dont les extrémités se trouvent sur un cercle de cuivre; ce cercle méridien peut se déplacer à son tour dans les entailles du support de bois; le pied, placé sur une table horizontale, peut tourner lui-même autour d'un axe vertical : ces divers mouvements suffisent pour pouvoir amener le globe dans une position déterminée quelconque. Cette sphère représentera le globe oculaire, et la ligne des pôles correspondra à la ligne de regard.

Plaçons d'abord la ligne des pôles verticalement, et amenons le premier méridien, celui de l'île de Fer, dans le plan de l'anneau de cuivre. Prenons les x verticalement (parallèlement à la position initiale de la ligne de regard); prenons pour plan des xy celui du premier méridien et du cercle de cuivre : on voit que l'axe des y est horizontal et compris dans ce plan, et que celui des z, également horizontal, lui est perpendiculaire. Plaçons au centre de la sphère l'origine commune de ces axes. Comme nous sommes maîtres de placer arbitrairement dans l'œil les axes des x et des y, nous admettrons que, dans sa position initiale, la ligne atrope soit située dans le plan des xy. Il en résultera une simplification très-notable dans les calculs, sans nuire à leur généralité. Ainsi, dans le globe qui nous représente l'œil, la ligne atrope se trouverait quelque part dans le méridien de l'île de Fer.

Il nous faut concevoir quatre systèmes de coordonnées rectangulaires qui coïncident tous, dans la position initiale de la sphère. Le premier, xyz, sera absolument immobile dans l'espace. Le second, $x_1y_1z_1$, mobile avec le support, sera invariablement lié à ce support. Le troisième, $x_2y_2z_2$ sera invariablement lié au

cercle méridien de cuivre. Le quatrième enfin, $\xi\upsilon\zeta$, sera invariablement lié à la sphère.

Quand on fait tourner le pied sur la table, le système des $x_1 y_1 z_1$ se déplace par rapport à celui des xyz; mais comme cette rotation se fait autour de l'axe des x, l'axe des x_1 continue à coïncider avec celui des x, et le plan des $y_1 z_1$ avec celui des yz. Donc, après la rotation, la distance x_1 d'un point quelconque au plan des $y_1 z_1$ est égale à la distance x de ce point au plan des yz. Dans la figure 162, le plan du papier est celui des plans des yz et des $y_1 z_1$. Soient OA l'axe des y et OH l'axe des z, OD celui des y_1, et OE celui des z_1; soit C la projection du point dont on cherche les coordonnées. Du point C, abaissons les perpendiculaires CA, CB, CD, CE, respectivement sur les quatre axes de coordonnées; abaissons, de plus, du point E, sur OA et sur OB, les perpendiculaires EG et EH, qui se coupent en K; nous avons

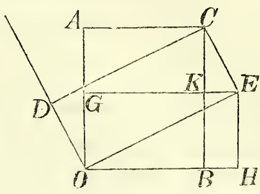


Fig. 162.

$$OA = CB = y \qquad OD = CE = y_1$$
$$OB = AC = z \qquad OE = CD = z_1 .$$

Nommons θ l'angle EOH dont le système des $x_1 y_1 z_1$ a tourné par rapport à celui des xyz, nous avons

$$y = OA = OG + GA = OG + KC.$$

Or, comme nous avons l'angle

$$GEO = ECK = EOH = \theta,$$

on a

$$OG = OE \sin (GEO) = z_1 \sin \theta$$
$$KC = CE \cos (ECK) = y_1 \cos \theta,$$

donc

$$y = y_1 \cos \theta + z_1 \sin \theta.$$

De même, nous avons

$$z = OB = OH - KE$$
$$OH = OE \cos (EOH) = z_1 \cos \theta$$
$$KE = EC \sin (ECK) = y_1 \sin \theta,$$

donc

$$z = z_1 \cos \theta - y_1 \sin \theta.$$

Nous avons donc après la rotation, pour les valeurs des coordonnées xyz du point donné par les coordonnées $x_1 y_1 z_1$,

$$\left.\begin{aligned} x &= x_1 \\ y &= y_1 \cos \theta + z_1 \sin \theta \\ z &= - y_1 \sin \theta + z_1 \cos \theta \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Faisons tourner, de plus, dans les entailles du support, le cercle méridien de cuivre; nous déplaçons alors le système des $x_2 y_2 z_2$ par rapport à celui des $x_1 y_1 z_1$,

mais sans que le plan des $x_2 y_2$ cesse de coïncider avec celui des $x_1 y_1$, et, par suite, l'axe des z_2 avec celui des z_1. Soit α l'angle de la rotation effectuée; on trouve, en procédant comme tout à l'heure, que les coordonnées $x_1 y_1 z_1$, exprimé s dans le système $x_2 y_2 z_2$, donnent

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= x_2 \cos\alpha - y_2 \sin\alpha \\ y_1 &= x_2 \sin\alpha + y_2 \cos\alpha \\ z_1 &= z_2 \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1\text{ a}).$$

Enfin, faisons tourner le globe autour de son axe polaire; le système des $\xi\upsilon\zeta$ se déplace alors par rapport à celui des $x_2 y_2 z_2$, sans que les axes ξ et x_2 cessent de coïncider. Désignant par ω l'angle de la rotation effectuée, il vient, pour les valeurs des $x_2 y_2 z_2$,

$$\left.\begin{aligned} x_2 &= \xi \\ y_2 &= \upsilon \cos\omega + \zeta \sin\omega \\ z_2 &= -\upsilon \sin\omega + \zeta \cos\omega \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1\text{ b}).$$

Transportant maintenant dans les équations 1) les valeurs de $x_1 y_1 z_1$ de 1a), il vient

$$\begin{aligned} x &= x_2 \cos\alpha - y_2 \sin\alpha \\ y &= x_2 \sin\alpha \cos\theta + y_2 \cos\alpha \cos\theta + z_1 \sin\theta \\ z &= - x_2 \sin\alpha \sin\theta - y_2 \cos\alpha \sin\theta + z_2 \cos\theta. \end{aligned}$$

Enfin, dans ces équations, remplaçons $x_2 y_2 z_2$ par leurs valeurs prises dans les équations 1b), il vient

$$\left.\begin{aligned} x &= \xi \cos\alpha - \upsilon \cos\omega \sin\alpha - \zeta \sin\omega \sin\alpha \\ y &= \xi \sin\alpha \cos\theta + \upsilon (\cos\alpha \cos\theta \cos\omega - \sin\theta \sin\omega) \\ &\qquad + \zeta (\cos\alpha \cos\theta \sin\omega + \sin\theta \cos\omega) \\ z &= -\xi \sin\alpha \sin\theta - \upsilon (\cos\alpha \sin\theta \cos\omega + \cos\theta \sin\omega) \\ &\qquad - \zeta (\cos\alpha \sin\theta \sin\omega - \cos\theta \cos\omega) \end{aligned}\right\} \ldots \quad 1\text{ c}).$$

Ces équations donnent les coordonnées dans l'espace, xyz, de tout point donné par ses coordonnées $\xi\upsilon\zeta$ sur ou dans la sphère.

Équations de la ligne de regard. — Cette ligne, qui est l'axe polaire de notre sphère, étant l'axe des ξ, on a pour tous ses points $\upsilon = \zeta = 0$. Il en résulte, pour un point de cette ligne situé à une distance ξ du centre de rotation,

$$\begin{aligned} x &= \xi \cos\alpha \\ y &= \xi \sin\alpha \cos\theta \\ z &= -\xi \sin\alpha \sin\theta. \end{aligned}$$

L'angle de l'axe polaire avec sa position initiale est donc α, sa projection sur le plan horizontal est $\xi \sin\alpha$, et cette projection fait un angle θ avec le plan des xy. Mais cette projection est l'intersection, avec le plan horizontal, d'un plan mené par l'axe vertical des x et par l'axe polaire ξ. Nous reportant à l'œil,

α est l'angle que forment entre elles la première et la seconde position de la ligne de regard, et

θ est l'angle que forme avec le plan des xy un plan mené par la première et la seconde position de la ligne de regard.

Ces deux angles définissent la position de la ligne de regard.

Condition imposée par la loi de Listing.—Pour saisir la signification de l'angle ω relativement à l'œil, demandons-nous comment cet angle doit être choisi pour que le mouvement s'effectue conformément à la loi de Listing, la position initiale où les systèmes xyz et $\xi\upsilon\zeta$ coïncidaient étant prise comme position primaire. Il faudrait alors, pour satisfaire à la loi en question, que la nouvelle position fût la même que celle qui résulterait d'une rotation autour de la ligne d'intersection des plans des $\upsilon\zeta$ et des yz. Comme les points de cet axe de rotation restent immobiles par rapport aux $\xi\upsilon\zeta$, comme par rapport aux xyz, ils sont soumis aux conditions

$$x = \xi \qquad y = \upsilon \qquad z = \zeta \} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2).$$

Ces trois conditions nous permettent de trouver, dans tous les cas, la position de l'axe de rotation. De plus, la loi de Listing exige que l'axe de rotation soit compris dans le plan des $\upsilon\zeta$, c'est-à-dire qu'on ait $\xi = 0$ pour tous ses points. Substituant ces valeurs dans les équations 1c), il vient

$$0 = - \upsilon \cos\omega \sin\alpha - \zeta \sin\omega \sin\alpha$$
$$\upsilon = \upsilon (\cos\alpha \cos\theta \cos\omega - \sin\theta \sin\omega) + \zeta (\cos\alpha \cos\theta \sin\omega + \sin\theta \cos\omega)$$
$$\zeta = - \upsilon (\cos\alpha \sin\theta \cos\omega + \cos\theta \sin\omega) - \zeta (\cos\alpha \sin\theta \sin\omega - \cos\theta \cos\omega).$$

De la première de ces équations, il résulte

$$\upsilon \cos\omega + \zeta \sin\omega = 0,$$

relation qui est satisfaite en posant

$$\upsilon = h \sin\omega, \qquad \zeta = - h \cos\omega,$$

la valeur de h restant indéterminée. Alors les deux autres équations se réduisent aux conditions

$$\sin\omega = - \sin\theta$$
$$- \cos\omega = - \cos\theta,$$

qui sont satisfaites en posant

$$\omega = - \theta \} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2a).$$

Telle est donc la condition pour que les rotations relatives aux équations 1c) soient conformes à la loi de Listing. Alors les valeurs x, y et z deviennent

$$\left.\begin{aligned} x &= \xi \cos\alpha - \upsilon \cos\theta \sin\alpha + \zeta \sin\theta \sin\alpha \\ y &= \xi \sin\alpha \cos\theta + \upsilon (\cos\alpha \cos^2\theta + \sin^2\theta) \\ &\qquad + \zeta (1 - \cos\alpha) \sin\theta \cos\theta \\ z &= - \xi \sin\alpha \sin\theta - \upsilon (\cos\alpha - 1) \sin\theta \cos\theta \\ &\qquad + \zeta (\cos\alpha \sin^2\theta + \cos^2\theta) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad 2b).$$

Il faut remarquer d'ailleurs que, même indépendamment de la loi de Listing, la somme $\omega + \theta$ doit être infiniment petite pour des valeurs très-petites de α, si des déplacements infiniment petits de la ligne de regard ne donnent pas des déplacements finis de l'œil.

Passons maintenant d'une position secondaire à une autre. — Dans les équations 2b), x étant la distance d'un point au plan des yz, la distance de ce même point au plan des $\upsilon\zeta$ est ξ, ces deux distances étant prises positivement quand elles sont situées en avant de ces plans. Or si nous posons

$$x = -\xi \qquad \text{ou} \qquad x + \xi = 0 \Big\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2c),$$

nous avons l'équation de tous les points situés à égale distance du côté antérieur du plan $x = 0$ et du côté postérieur du plan $\xi = 0$, propriété qui appartient aux points du plan bissecteur de l'angle θ que forment entre eux les plans $x = 0$ et $\xi = 0$. L'équation 2c) est donc celle de ce plan bissecteur. En y substituant la valeur de x tirée de 2b), cette équation devient

$$0 = \xi\,(1 + \cos\alpha) - \upsilon \cos\theta \sin\alpha + \zeta \sin\theta \sin\alpha. \Big\} \quad \ldots \quad 2d).$$

Multipliant par $\dfrac{1 - \cos\alpha}{\sin\alpha}$, cette équation devient

$$0 = \xi \sin\alpha - \upsilon \cos\theta\,(1 - \cos\alpha) + \zeta \sin\theta\,(1 - \cos\alpha) \Big\} \quad \ldots \quad 2e);$$

multipliant encore par $\cos\theta$, il vient

$$0 = \xi \sin\alpha \cos\theta + \upsilon\,(\cos\alpha \cos^2\theta - \cos^2\theta) + \zeta \cos\theta \sin\theta\,(1 - \cos\alpha),$$

équation qui, comparée avec la valeur de y prise dans 2b), se réduit à

$$\upsilon = y.$$

De même, en multipliant 2e) par $\sin\theta$, on obtient une équation analogue qui se réduit à

$$\zeta = z.$$

Nous avons donc, pour les points du plan bissecteur de l'angle θ que forment entre eux les plans $x = 0$ et $\xi = 0$,

$$x = -\xi, \qquad y = \upsilon, \qquad z = \zeta \Big\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2f).$$

Prenons maintenant une deuxième position secondaire du globe, pour laquelle nous désignerons respectivement par x_0, y_0, z_0, α_0, θ_0 les valeurs correspondantes de x, y, z, α, θ ; pour le plan bissecteur de l'angle θ_0 que font entre eux les plans $x_0 = 0$ et $\xi = 0$, on a également

$$x_0 = -\xi, \qquad y_0 = \upsilon, \qquad z_0 = \zeta.$$

Si donc le point $\xi\upsilon\zeta$ appartient à la fois aux deux plans bissecteurs, c'est-à-dire s'il se trouve sur leur intersection, on a pour ce point

$$x = x_0, \qquad y = y_0, \qquad z = z_0.$$

Les points de cette intersection occupent donc la même position dans l'espace

pour les deux positions successives de l'œil, et il en résulte que *pour amener l'œil d'une position secondaire à une autre en le faisant tourner autour d'un axe constant, il faut prendre pour axe la ligne d'intersection des plans bissecteurs des angles formés par le plan primaire des axes de rotation avec les plans perpendiculaires aux deux positions secondaires de la ligne de regard.* La position de cet axe est donnée par l'équation 2c) et par l'équation analogue relative à la seconde position, à savoir

$$x + \xi = 0 \qquad \text{et} \qquad x_0 + \xi = 0.$$

L'angle dont le globe tourne autour de cet axe résultant, en passant de la première à la deuxième position secondaire, est double de l'angle que font entre eux les deux plans bissecteurs considérés $x + \xi = 0$ et $x_0 + \xi = 0$.

Remarque. — La règle d'après laquelle nous venons d'obtenir, par une seule rotation, le résultat de deux rotations successives, peut s'appliquer, tout à fait indépendamment de la loi de Listing, à un corps quelconque mobile autour d'un point fixe. — Supposons que l'on connaisse la position qu'occupe chacun des axes au moment de la rotation autour de cet axe, ou bien, ce qui est la même chose, la position de ces deux axes au moment qui précède la deuxième rotation ; nommons A le plan qui passe alors par ces deux axes, et soient respectivement A_0 et A_1 les positions de ce plan avant la première et après la seconde rotation. Comme les axes sont respectivement les intersections de A_0 avec A et de A avec A_1, cette construction est facile à exécuter dès que l'on connaît la valeur des angles de rotation A_0A et A_1A. Menant les plans bissecteurs de ces deux angles, leur intersection est l'axe de rotation résultant, et l'angle de rotation est le double de l'angle que comprennent entre eux les deux plans bissecteurs (il est indifférent de prendre l'un ou l'autre des deux angles qu'ils forment).

Quand les rotations sont infiniment petites, l'axe de rotation résultant est infiniment près du plan des deux autres axes, et, à la limite, il se confond avec la diagonale du parallélogramme dont les côtés coïncident en direction avec les deux axes de rotation et sont proportionnels aux grandeurs des angles de rotation.

Ligne atrope. — Revenons aux conséquences de la loi de Listing relativement aux mouvements du globe. — Comme l'axe de rotation autour duquel il faut faire tourner l'œil pour l'amener de la position des équations 2b) à une autre position quelconque $x_0\, y_0\, z_0$ est compris dans le plan $x + \xi = 0$, quelle que soit d'ailleurs cette seconde position, il en résulte que toutes les fois qu'on veut passer d'une position déterminée à d'autres positions quelconques par rotation autour d'axes fixes, ces axes sont tous compris dans un certain plan dont la position ne dépend que de la position initiale et nullement de la seconde position à atteindre ; il en résulte aussi que toute rotation, d'une amplitude quelconque, autour d'un axe situé dans ce plan, amène toujours l'œil dans une position conforme aux exigences de la loi de Listing.

On voit donc que la position primaire de la ligne de regard présente cette seule particularité que la position du plan des axes de rotation qui lui sont relatifs est perpendiculaire à cette ligne.

On voit également que, pour une position quelconque de la ligne de regard, la

position de la normale au plan des axes de rotation s'obtient en prenant la bissectrice des directions primaire et actuelle de la ligne de regard. On peut donner à cette normale le nom de *ligne atrope instantanée* relative à la position considérée.

Pour toute rotation exécutée d'une manière continue autour d'un axe, en suivant la loi de Listing, la ligne atrope instantanée, relative à la position primitive, décrit évidemment un grand cercle sur le champ visuel sphérique. Quant à la ligne de regard, n'étant en général pas perpendiculaire à l'axe de rotation, elle ne décrit pas un grand cercle, mais bien un cercle parallèle au grand cercle décrit par la ligne atrope en question.

Point occipital. — Cercles de direction. — Soit O (fig. 163) le centre de rotation de l'œil, OA la position primaire de la ligne de regard, OB une seconde position de cette ligne, $ACBDF$ la section du champ de regard sphérique; la bissectrice GOC de l'angle AOB est la ligne atrope relative à la position OB de la ligne de regard, et un plan mené perpendiculairement au plan de la figure par la ligne OD, perpendiculaire à OC, est le plan des axes de rotation relatifs à OB. Il est facile de voir que si l'on prolonge AO jusqu'en F, les angles BOD et FOD sont égaux entre eux comme compléments des angles égaux BOC et GOF. Il en résulte aussi que si nous nommons OE un axe quelconque mené dans le plan des axes qui passe par OD, les angles BOE et FOE sont nécessairement égaux entre eux.

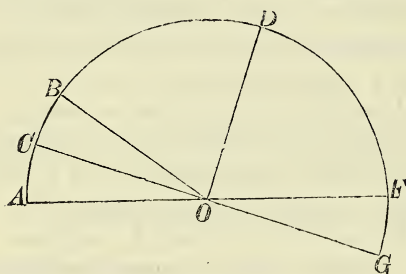


Fig. 163.

S'il était donc possible de faire tourner complétement le globe autour de l'axe OE, la ligne OB viendrait prendre la position OF. Donc tous les cercles que la ligne de regard peut décrire dans le champ visuel sphérique, en partant de la position OB et tournant autour d'un axe fixe conformément à la loi de Listing, passent nécessairement par le point F; or la position du point F est absolument indépendante de la position OB et ne dépend que de la position primaire OA. Nous pouvons donner à ce point F le nom de *point occipital du champ de regard.* On voit que :

Les prolongements de tous les arcs de cercle que la ligne de regard décrit dans le champ visuel sphérique, en tournant autour d'un axe fixe, conformément à la loi de Listing, passent par le point occipital du champ de regard.

Et inversement : *Quand la ligne de regard décrit dans le champ visuel sphérique, conformément à la loi de Listing, un arc de cercle dont le prolongement passe par le point occipital, elle se déplace en tournant autour d'un axe fixe, perpendiculaire au plan de ce cercle.*

Nous nommerons *cercles de direction* ces cercles du champ de regard sphérique qui passent par le point occipital. Leur importance, relativement à l'orientation, ressortira davantage dans les paragraphes suivants. On voit que les cercles de

direction ne sont des grands cercles du champ visuel que lorsqu'ils passent par la position primaire de la ligne de regard, c'est-à-dire par le point du champ de regard que nous nommerons *point de regard principal.*

On voit facilement maintenant que s'il s'est développé dans l'œil une image accidentelle linéaire qui se projette dans le champ de regard sur un cercle de direction de la position de la ligne de regard, lorsque l'œil se déplace suivant ce cercle de direction, l'image accidentelle conserve sa position apparente sur ce cercle et ne se déplace que sur son propre prolongement. — De même, une image accidentelle, développée sur la perpendiculaire menée par le point de regard à l'un des cercles de direction correspondants, reste perpendiculaire à ce cercle pendant les mouvements effectués suivant ce cercle. — Enfin, il est facile de voir que l'image accidentelle sera constamment dirigée parallèlement à tous ceux des cercles de direction qui ont, au point occipital, la même tangente que celui des cercles de direction sur lequel elle se trouvait d'abord.

L'équation des cercles de direction qui passent par une position déterminée de la ligne de regard, telle que celle donnée par les équations 2b), s'obtient facilement par cette condition qu'ils sont les traces d'un plan mené par le point occipital, sur le champ visuel sphérique dont le centre est le centre de rotation de l'œil, origine de nos coordonnées. Écrivons l'équation du champ visuel sphérique

$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \Big\} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

et l'équation générale d'un plan

$$ax + by + cz = A.$$

Les coordonnées du point occipital sont

$$x = -R, \qquad y = 0, \qquad z = 0.$$

Ces valeurs devant satisfaire à l'équation du plan, il vient

$$-aR = A,$$

ce qui détermine la quantité inconnue A. L'équation d'un plan quelconque, passant par le point occipital, est donc

$$ax + by + cz = -aR \Big\} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3a).$$

Les équations 3) et 3a) sont donc celles d'un cercle de direction quelconque.

Écrivant ces deux équations sous la forme

$$x^2 \left(1 + \frac{y^2}{x^2} + \frac{z^2}{x}\right) = R^2$$

et

$$x^2 \left(1 + \frac{b}{a}\frac{y}{x} + \frac{c}{a}\frac{z}{x}\right)^2 = R^2$$

et divisant membre à membre, il vient

$$1 + \frac{y^2}{x^2} + \frac{z^2}{x^2} = \left(1 + \frac{b}{a}\frac{y}{x} + \frac{c}{a}\frac{z}{x}\right)^2 \Big\} \ldots\ldots \quad 3b),$$

ce qui est l'équation d'un cône dont le sommet est à l'origine des coordonnées et

qui s'appuie sur le cercle de direction. Pour s'assurer, en effet, que cette surface contient le cercle de direction, il suffit de remarquer que l'équation 3b) est déduite des équations 3) et 3a), dans lesquelles x, y, z représentent les coordonnées d'un point quelconque du cercle de direction; pour voir que c'est un cône, il suffit de remarquer que si son équation est satisfaite pour les coordonnées d'un point x, y, z, elle l'est aussi pour celles de tous les points pour lesquels les rapports $y : x$ et $z : x$ sont les mêmes que pour celui-là. En effet, les équations $y : x = C_0$ et $z : x = C_1$ représentent une ligne droite qui passe par l'origine des coordonnées, et comme tous les points d'une ligne droite qui passe par l'origine et par un point de la surface, sont compris dans cette surface, l'équation 3b) représente un cône.

Les génératrices rectilignes de ce cône sont les positions que prend la ligne de regard en parcourant le cercle de direction correspondant.

Projection sur un champ visuel plan. — Quand une image accidentelle linéaire se projette suivant un cercle de direction, nous avons fait remarquer qu'elle reste sur ce cercle quand l'œil en parcourt les différents points. Précédemment, nous avions projeté les images accidentelles sur un plan perpendiculaire à la position primaire de l'œil, et dont l'équation est, par conséquent,

$$x = C.$$

Faisant x constant dans l'équation 3b), nous obtenons l'équation d'une hyperbole qui est la projection du cercle de direction sur le plan considéré. Cette équation est

$$0 = (b^2 - a^2)\, y^2 + (c^2 - a^2)\, z^2 + 2\,bcyz + 2\,abxy + 2\,acxz \Big\} \ldots \quad 3c).$$

Sous cette forme générale, elle donne toutes les hyperboles le long desquelles peuvent se déplacer des images accidentelles linéaires dirigées d'une manière quelconque.

Bornons-nous aux images accidentelles qui étaient d'abord parallèles à une direction déterminée, celle de l'axe des z, par exemple, il faut poser $c = 0$ dans l'équation 3a) du cercle de direction. Posons, de plus,

$$a = -\sin\frac{\alpha}{2} \qquad b = +\cos\frac{\alpha}{2}$$

l'équation 3c) devient

$$0 = y^2 \cos\alpha - z^2 \sin^2\frac{\alpha}{2} - xy \sin\alpha$$

ou bien

$$\cos\alpha \left(y - \frac{1}{2}\, x \operatorname{tg}\alpha\right)^2 - z^2 \sin^2\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{4}\, x^2 \cos\alpha \operatorname{tg}^2\alpha.$$

Posant

$$\frac{1}{2}\, x \operatorname{tang}\alpha = f$$

et
$$x\sqrt{\frac{\tang \alpha}{2 \tang \frac{\alpha}{2}}} = g,$$

l'équation de l'hyperbole devient

$$\frac{(y-f)^2}{f^2} - \frac{z^2}{g^2} = 1.$$

On voit que f est l'axe réel, g l'axe imaginaire, et que le centre de l'hyperbole est éloigné de la ligne $z = 0$ d'une distance égale à la longueur de l'axe réel. L'un des sommets de toutes ces hyperboles est situé sur l'axe des x, au point $z = 0$, $y = 0$, mais celles des branches des hyperboles qui passent par ce point ne sont pas des projections optiques des cercles de direction : ce sont seulement des projections géométriques de la partie postérieure et non visible de ces cercles. On a vu plus haut (fig. 154, p. 604) la représentation d'hyperboles de ce genre.

Il nous reste à déterminer la rotation que l'œil subit par rapport à la ligne de visée conformément à la loi de Listing. — Soit $\upsilon = 0$ l'horizon rétinien de l'œil, $y = 0$ étant sa position primaire et en même temps la position primaire du plan de visée. L'axe des y est alors la ligne qui réunit les centres de rotation des deux yeux. Le plan de visée passe donc toujours par l'axe des y. L'équation générale de ces plans est

$$ax + bz = 0.$$

Pour la ligne de regard, on a $\upsilon = \zeta = 0$; on a donc, d'après 2b),

$$x = \xi \cos \alpha, \qquad y = \xi \sin \alpha \cos \theta, \qquad z = -\xi \sin \alpha \sin \theta,$$

et comme la ligne de regard est nécessairement dans le plan de visée, ces valeurs de x et z doivent satisfaire l'équation générale du plan de visée ; on a donc

$$a\xi \cos \alpha - b\xi \sin \alpha \sin \theta = 0.$$

Cette équation est satisfaite si l'on pose

$$a = \sin \alpha \sin \theta, \qquad b = \cos \alpha.$$

L'équation du plan de visée devient donc

$$x \sin a \sin \theta + z \cos \alpha = 0,$$

ou bien, en y transportant les valeurs tirées de 2b),

$$0 = \upsilon \cos \theta \sin \theta\, (1 - \cos \alpha) - \zeta\, (\sin^2 \theta + \cos \alpha \cos^2 \theta)\} \quad . \; . \; . \quad 4).$$

On sait que l'angle k que forment entre eux deux plans représentés par les équations

$$ax + by + cz + d = 0$$
$$\alpha x + \beta y + \gamma z + \delta = 0,$$

est donné par la formule

$$\cos k = \frac{a\alpha + b\beta + c\gamma}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}\ \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}}.$$

Il en résulte que l'angle formé par le plan de visée de l'équation 4) avec l'horizon rétinien, dont l'équation est

$$0 = \upsilon \Big\} \ldots \ldots \ldots \quad 4a).$$

est donné par l'équation

$$\cos k = \frac{\cos\theta \sin\theta\,(1 - \cos\alpha)}{\sqrt{\sin^2\theta + \cos^2\alpha\cos^2\theta}}$$

ou

$$\left.\operatorname{cotang} k = \frac{\cos\theta \sin\theta\,(1 - \cos\alpha)}{\sin^2\theta + \cos\alpha\cos^2\theta}\right\} \ldots \ldots \quad 4b).$$

ce qui définit l'angle k compris entre l'horizon rétinien et le plan de visée au moment considéré.

De même, pour l'angle k' que forme le plan du méridien qui était vertical dans la position initiale $\zeta = 0$ avec un plan mené par l'axe des z et la ligne de regard, plan dont l'équation est

$$x \sin\alpha \cos\theta - y \cos\alpha = 0$$

on trouve l'expression

$$\left.\operatorname{tang} k' = \frac{\cos\theta \sin\theta\,(1 - \cos\alpha)}{\cos^2\theta + \sin^2\theta\cos\alpha}\right\} \ldots \ldots \quad 4c).$$

Autres notations. — Au lieu des angles α et θ, on a souvent eu recours, pour déterminer la position de la ligne du regard, à d'autres éléments, tels que l'*angle ascensionnel* λ et l'*angle latéral* μ, tels qu'ils ont été définis plus haut (p. 600), ou bien les angles que Fick a nommés *longitude* et *latitude* et que nous désignerons par les lettres l et m. Il nous faut introduire ces éléments dans les formules 4b) et 4c) pour les rendres propres à l'utilisation d'expériences ainsi disposées.

L'*angle ascensionnel* λ est l'angle compris entre le plan de visée

$$x \sin\alpha \sin\theta + z \cos\alpha = 0$$

et le plan $x = 0$; sa tangente est donc

$$\operatorname{tang}\lambda = \frac{z}{x} = -\operatorname{tang}\alpha \sin\theta.$$

L'*angle latéral* est égal à l'angle compris entre le plan équatorial de l'œil, $\xi = 0$, et le plan mené perpendiculairement au plan de visée, par l'axe des y, et dont l'équation est

$$x \cos\alpha - z \sin\alpha \sin\theta = 0$$

ou, après substitution des valeurs tirées de 2b),

$$0 = \xi\,[\cos^2\alpha + \sin^2\alpha \sin^2\theta] - \upsilon \sin\alpha\cos\theta\,[\sin^2\theta + \cos\alpha\cos^2\theta]$$
$$+ \zeta \sin\alpha \sin\theta \cos^2\theta\,[\cos\alpha - 1],$$

d'où il résulte, d'après les mêmes règles que plus haut, pour l'angle μ compris entre ce plan et le plan $\xi = 0$,

$$\cos\mu = \sqrt{\cos^2\alpha + \sin^2\alpha\sin^2\theta}.$$

On a donc, pour déterminer α et θ, les deux équations

$$\tang\lambda = -\tang\alpha\sin\theta$$
$$\cos^2\mu = \cos^2\alpha + \sin^2\alpha\sin^2\theta\,,$$

d'où

$$\cos\alpha = \cos\mu\cos\lambda$$

$$\sin\theta = \mp\frac{\cos\mu\sin\lambda}{\sqrt{1-\cos^2\mu\cos^2\lambda}}$$

ou bien

$$\tang\theta = \sin\lambda\operatorname{cotang}\mu.$$

Substituant ces valeurs dans 4 b) et 4 c), nous obtenons

$$\left.\tang k = -\frac{\sin\mu\sin\lambda}{\cos\mu+\cos\lambda}\right\}\ldots\ldots\ldots\ldots 4\text{ d)}$$

$$\tang k' = \frac{\sin\mu\cos\mu\sin\lambda\,(1-\cos\mu\cos\lambda)}{\sin^2\mu+\cos^3\mu\sin^2\lambda\cos\lambda}.$$

D'une manière analogue on trouve

$$\tang k = -\frac{\sin m\cos m\sin l\,(1-\cos m\cos l)}{\sin^2 m+\cos^3 m\sin^2 l\cos l}$$

$$\tang k' = \frac{\sin m\sin l}{\cos m+\cos l}\ldots\ldots\ldots\ldots 4\text{ e)}.$$

On a vu plus haut quand les angles employés ici doivent être pris positivement ou négativement.

En substituant aux angles k, μ, λ et k', m et l leurs moitiés dans les équations 4d) et 4e), elles obtiennent la forme plus aisément calculable par logarithmes

$$\left.\tang\left(\frac{k}{2}\right) = -\tang\left(\frac{\mu}{2}\right).\tang\left(\frac{\lambda}{2}\right)\right\}\ldots\ldots 4\text{ f)}$$

$$\tang\left(\frac{k'}{2}\right) = \tang\left(\frac{m}{2}\right).\tang\left(\frac{l}{2}\right).$$

MANIÈRE DE DÉDUIRE LA LOI DES ROTATIONS EN PARTANT DU PRINCIPE DE LA PLUS FACILE ORIENTATION.

Nous avons d'abord à calculer les différences qui résultent, pour les torsions, de rotations autour d'axes qui ne soient pas perpendiculaires à la ligne atrope.

Soit *ab* (fig. 164) la ligne visuelle, *ad* l'axe d'une rotation pour laquelle la ligne visuelle *ab* décrive l'arc infiniment petit d*s* perpendiculaire au plan du dessin, la rotation autour de *ad*, dont nous appellerons Δ la grandeur angulaire, peut être considérée comme résultant d'une rotation autour de l'axe *ac*, perpendiculaire à *ab*, et d'une autre autour de la ligne *ab* elle-même. La valeur de cette dernière rotation est Δ cos λ′, si nous désignons par λ′ l'angle *dab* de la figure. Mais la valeur de Δ est déterminée par cette condition que *ab* doit se déplacer de l'angle d*s*; or, dans ce mouvement du point *b*, la perpendiculaire *bf* abaissée de *b* sur l'axe est le rayon vecteur. On a donc

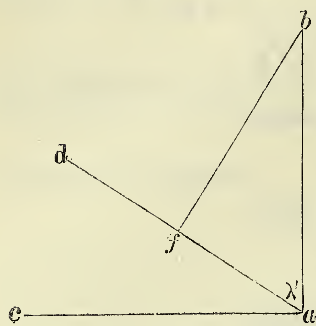


Fig. 164.

$$ab \, . \, ds = fb \, . \, \Delta$$

ou

$$ds = \Delta \sin \lambda'.$$

Donc, dans ce mouvement, la torsion autour de la ligne *ab* est

$$ds \text{ cotang } \lambda'.$$

Menons maintenant par *ab* des plans suivant différentes directions; l'élément d*s* peut être supposé contenu dans chacun de ces plans, et si les mouvements de l'œil doivent être continus dans tous les sens en partant de *ab*, les axes de rotation correspondants doivent tous être contenus dans un même plan. L'un des plans menés par *ab* est nécessairement perpendiculaire au plan des axes de rotation, qui contient *ad*. Nommons λ la valeur que l'angle λ′ prend pour ce plan, et ε l'angle que le plan mené par l'élément d*s* et la ligne visuelle *ab* fait avec ce plan de l'angle λ. Dans l'angle trièdre rectangle formé par le plan des axes de rotation et les plans des angles λ et λ′, on a, d'après une formule connue de trigonométrie sphérique,

$$\text{cotg } \lambda' = \text{cotg } \lambda \, . \cos \varepsilon$$

la rotation autour de la ligne *ab* est donc

$$ds \text{ cotg } \lambda' = ds \, . \text{ cotg } \lambda \, . \cos \varepsilon.$$

Nommons, d'autre part, μ l'angle que la ligne de regard *ab* forme, dans la même position, avec le plan perpendiculaire à la ligne atrope, et κ l'angle que forment en *ab* les plans des angles μ et λ; un calcul analogue au précédent donnerait, pour la rotation autour de la ligne visuelle,

$$ds \text{ cotg } \mu \cos (\varepsilon - \kappa),$$

pour les cas où les rotations seraient partout conformes au principe de la plus facile orientation, ce qui exigerait que les axes de rotation fussent constamment perpendiculaires à la ligne atrope.

Le carré de la différence entre l'angle exigé et l'angle véritable est

$$\rho^2 = ds^2 \left\{ \operatorname{cotg} \lambda \cos \varepsilon - \operatorname{cotg} \mu \cos (\varepsilon - \varkappa) \right\}^2.$$

L'exigence du principe de la plus facile orientation revient donc à demander que *la somme de toutes les valeurs de* ρ^2 *relatives à tous les mouvements possibles infiniment petits de la ligne visuelle, d'étendue* ds, *soit un minimum.*

Prenons d'abord la somme de toutes les valeurs de ρ^2 pour des déplacements d*s* qui, partant d'une seule et même position de la ligne de regard, se dirigent dans différents sens, c'est-à-dire répondent à des valeurs différentes de l'angle ε. Nous avons

$$\int_0^{2\pi} \rho^2 d\varepsilon = \pi ds^2 \left\{ \operatorname{cotg}^2 \lambda + \operatorname{cotg}^2 \mu - 2 \operatorname{cotg} \lambda \,.\, \operatorname{cotg} \mu \,.\, \cos \varkappa \right\} \ldots \quad 5).$$

Il faut maintenant faire la somme des valeurs de cette expression relatives aux différentes positions de la ligne de regard, définies par les angles α et θ. On a donc à former l'intégrale.

$$\int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\alpha_0} d\alpha \int_0^{2\pi} d\varepsilon \,.\, \rho^2 \sin \alpha = R. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 5\,a).$$

où α_0 représente les valeurs qui répondent à la limite du champ de regard.

Pour exécuter cette intégration, il faut trouver les valeurs de λ et de $\varkappa$ qui répondent aux différentes valeurs de α et θ. A cet effet, différencions l'équation 1c) par rapport à α et à θ, en considérant l'angle ω comme une fonction de ces deux-là, et ξ, υ, ζ comme des constantes. Pour les points de l'axe de rotation, il faut qu'on ait

$$dx = dy = dz = 0$$

Tirons de là les équations suivantes, relatives également aux points de l'axe de rotation :

$$\left.\begin{array}{l} a\, dx + a_{,} dy + a_{,,} dz = 0 \\ b\, dx + b_{,} dy + b_{,,} dz = 0 \\ c\, dx + c_{,} dy + c_{,,} dz = 0 \end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 6),$$

et où les lettres a, b, c, etc., représentent les coefficients des équations 1 c) :

$$\begin{aligned} a &= \cos \alpha \\ a_{,} &= \sin \alpha \cos \theta \\ a_{,,} &= - \sin \alpha \sin \theta \\ b &= - \cos \omega \sin \alpha \\ b_{,} &= \cos \alpha \cos \theta \cos \omega - \sin \theta \sin \omega \\ b_{,,} &= - \cos \alpha \sin \theta \cos \omega - \cos \theta \sin \omega \\ c &= - \sin \omega \sin \alpha \\ c_{,} &= \cos \alpha \cos \theta \sin \omega + \sin \theta \cos \omega \\ c_{,,} &= - \cos \alpha \sin \theta \sin \omega + \cos \theta \cos \omega. \end{aligned}$$

On sait qu'entre ces quantités il existe un système d'équations de l'espèce suivante :

$$\left.\begin{array}{ll} 1 = a^2 + a_{,}^2 + a_{,,}^2 & ab + a_{,}b_{,} + a_{,,}b_{,,} = 0 \\ 1 = b^2 + b_{,}^2 + b_{,,}^2 & ac + a_{,}c_{,} + a_{,,}c_{,,} = 0 \\ 1 = c^2 + c_{,}^2 + c_{,,}^2 & bc + b_{,}c_{,} + b_{,,}c_{,,} = 0 \end{array}\right\} \ldots\ldots \text{A)}$$

$$\left.\begin{array}{l} 0 = ada + a_{,}da_{,} + a_{,,}da_{,,} \\ adb + a_{,}db_{,} + a_{,,}db_{,,} = -(bda + b_{,}da_{,} + b_{,,}da_{,,}) \\ 0 = bdb + b_{,}db_{,} + b_{,,}db_{,,} \\ adc + a_{,}dc_{,} + a_{,,}dc_{,,} = -(cda + c_{,}da_{,} + c_{,,}da_{,,}) \\ 0 = cdc + c_{,}dc_{,} + c_{,,}dc_{,,} \\ bdc + b_{,}dc_{,} + b_{,,}dc_{,,} = -(cdb + c_{,}db_{,} + c_{,,}db_{,,}) \end{array}\right\} \ldots\ldots \text{B).}$$

Si l'on remplace maintenant, dans les équations 6), dx, dy, dz, par leurs valeurs :

$$\begin{array}{l} dx = \xi da + \upsilon db + \zeta dc \\ dy = \xi da_{,} + \upsilon db_{,} + \zeta dc_{,} \\ dz = \xi da_{,,} + \upsilon db_{,,} + \zeta dc_{,,}, \end{array}$$

on obtient :

$$\left.\begin{array}{l} 0 = \upsilon\,(adb + a_{,}db_{,} + a_{,,}db_{,,}) + \zeta(adc + a_{,}dc_{,} + a_{,,}dc_{,,}) \\ 0 = \xi\,(bda + b_{,}da_{,} + b_{,,}da_{,,}) + \zeta(bdc + b_{,}dc_{,} + b_{,,}dc_{,,}) \\ 0 = \xi\,(cda + c_{,}da_{,} + c_{,,}da_{,,}) + \upsilon(cdb + c_{,}db_{,} + c_{,,}db_{,,}) \end{array}\right\} \ldots \text{6 a).}$$

Ces trois dernières équations (1) donnent chacune des coordonnées de l'axe de rotation exprimées en fonction de chacune des autres.

Soit $\frac{\pi}{2} - \lambda$ l'angle que forme avec l'axe des ξ (ligne de regard) une ligne perpendiculaire au plan des axes de rotation, et soit $\varkappa$ l'angle que le plan de l'angle λ fait avec celui des $\upsilon\xi$, nous conformant aux notations de l'équation 5) et admettant que le plan des $\upsilon\xi$ soit mené par la ligne atrope, il vient, pour le plan des axes de rotation,

$$\xi \sin\lambda + \upsilon \cos\lambda \cos\varkappa + \zeta \sin\lambda \sin\varkappa = 0,$$

(1) Il est facile de voir, en tenant compte des équations B), que la dernière de ces trois équations est comprise dans les deux autres. Or si l'ω des équations 1c) est une fonction continue de α et θ, c'est-à-dire qu'on ait

$$d\omega = \frac{d\omega}{d\alpha}\, d\alpha + \frac{d\omega}{d\theta}\, d\theta,$$

les différentielles da, db, dc, etc., deviennent toutes de la forme

$$da = \frac{da}{d\alpha}\, d\alpha + \frac{da}{d\theta}\, d\theta.$$

Si l'on élimine maintenant le rapport $\frac{d\alpha}{d\theta}$ entre deux des équations 6a), on obtient une équation divisible par ζ, et qui, après cette division, devient linéaire par rapport à ξ, υ, ζ : c'est l'équation d'un plan qui doit contenir tous les axes de rotation pour des rotations infiniment petites commençant à la position donnée de l'œil. — Ceci démontre le lemme dont nous avons fait usage, que pour des mouvements continus de l'œil et des rotations infiniment petites, à chaque position répond un plan des axes de rotation.

ou bien, substituant les valeurs de υ et ζ tirées des deux dernières des équations 6a), et multipliant le tout par

$$(b\mathrm{d}c + b_{,}\mathrm{d}c_{,} + b_{,,}\mathrm{d}c_{,,}) = -(c\mathrm{d}b + c_{,}\mathrm{d}b_{,} + c_{,,}\mathrm{d}b_{,,})$$

il vient

$$\left.\begin{aligned} 0 = \sin\lambda\,(b\mathrm{d}c + b_{,}\mathrm{d}c_{,} + b_{,,}\mathrm{d}c_{,,}) - \cos\lambda\cos\varkappa\,(c\mathrm{d}a + c_{,}\mathrm{d}a_{,} + c_{,,}\mathrm{d}a_{,,}) \\ + \cos\lambda\sin\varkappa\,(b\mathrm{d}a + b_{,}\mathrm{d}a_{,} + b_{,,}\mathrm{d}a_{,,}) \end{aligned}\right\}\ldots 6b).$$

Cette équation en donne deux, si $\mathrm{d}\alpha$ et $\mathrm{d}\theta$ sont indépendants l'un de l'autre, car chacune des différentielles a la forme

$$\mathrm{d}a = \frac{\mathrm{d}a}{\mathrm{d}\alpha}\,\mathrm{d}\alpha + \frac{\mathrm{d}a}{\mathrm{d}\theta}\,\mathrm{d}\theta.$$

Si l'on effectue donc, d'abord par rapport à α, puis par rapport à θ, les différentielles que contient 6b), on obtient les deux équations

$$0 = \sin\lambda\,\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\alpha} - \cos\lambda\cos\varkappa\sin\omega + \cos\lambda\sin\varkappa\cos\omega$$

$$0 = \sin\left(\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\theta} + \cos\alpha\right) + \cos\lambda\cos\varkappa\sin\alpha\cos\omega + \cos\lambda\sin\varkappa\sin\alpha\sin\omega.$$

Par élimination de $\cos\varkappa$ ou de $\sin\varkappa$, les deux dernières équations donnent

$$\sin\lambda\left(\sin\alpha\sin\omega\,\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\alpha} - \cos\omega\,\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\theta} - \cos\omega\cos\alpha\right) = \cos\lambda\cos\varkappa\sin\alpha$$

$$\sin\lambda\left(\sin\alpha\cos\omega\,\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\alpha} + \sin\omega\,\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\theta} + \sin\omega\cos\alpha\right) = -\cos\lambda\sin\varkappa\sin\alpha.$$

Divisant les deux équations par $\sin\lambda\sin\alpha$, la première donne la valeur de $\operatorname{cotg}\lambda\cos\varkappa$ que nous avons à substituer dans 5) ; élevées au carré et ajoutées membre à membre, elles donnent

$$\operatorname{cotg}^2\lambda = \left(\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\alpha}\right)^2 + \frac{1}{\sin^2\alpha}\left(\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\theta} + \cos\alpha\right)^2$$

et nous obtenons enfin, pour l'intégrale R dont il nous faut chercher le minimum

$$\left.\begin{aligned} R = \pi\mathrm{d}s^2\int_0^{2\pi}\mathrm{d}\theta\int_0^{\alpha_0}\mathrm{d}\alpha\,\Bigg\{\sin\alpha\left(\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\alpha}\right)^2 \\ + \frac{1}{\sin\alpha}\left(\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\theta} + \cos\alpha\right)^2 - 2\operatorname{cotg}\mu\left[\sin\alpha\sin\omega\,\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\alpha} - \cos\omega\left(\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}\theta} + \cos\alpha\right)\right] \\ + \operatorname{cotg}^2\mu\sin\alpha\Bigg\} \end{aligned}\right\}\ 6\,c).$$

Dans cette expression, ω et μ sont variables. Pour que R devienne minimum,

il faut égaler à 0 les dérivées prises par rapport à ces deux quantités, ce qui donne

$$\left.\begin{aligned} 0 = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\alpha_0} d\alpha \Bigg\{ & \sin\alpha \frac{d\omega}{d\alpha} \cdot \frac{d\delta\omega}{d\alpha} + \frac{1}{\sin\alpha}\left(\frac{d\omega}{d\theta} + \cos\alpha\right)\frac{d\delta\omega}{d\theta} \\ & - \operatorname{cotg}\mu \left[\left[\sin\alpha\cos\omega\frac{d\omega}{d\alpha} + \sin\omega\left(\frac{d\omega}{d\alpha} + \cos\alpha\right)\right]\delta\omega \right. \\ & \left. + \sin\alpha\sin\omega\frac{d\delta\omega}{d\alpha} - \cos\omega\frac{d\delta\omega}{d\theta}\right]\Bigg\} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \text{ 6 d)}$$

et

$$\left.\begin{aligned} & \operatorname{cotg}\mu \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\alpha_0} \sin\alpha\, d\alpha \\ & = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\alpha_0} d\alpha \left[\sin\alpha\sin\omega\frac{d\omega}{d\alpha} - \cos\omega\left(\frac{d\omega}{d\theta} + \cos\alpha\right)\right] \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \text{ 6e)}.$$

On peut, par intégration partielle, faire disparaître de l'équation 6d) les quantités $\frac{d\delta\omega}{d\alpha}$ et $\frac{d\delta\omega}{d\theta}$, et l'on obtient alors deux intégrales, relatives à la circonférence et à la surface du champ visuel, et qui ne contiennent plus chacune en facteur que $\delta\omega$ sous le signe d'intégration. Mais avant d'exécuter ce calcul, il est nécessaire de s'assurer que la fonction à intégrer ne présente pas de valeurs multiples et ne devienne pas discontinue dans l'intérieur du champ visuel. Or, nous avons déjà remarqué plus haut qu'il est nécessaire que, pour de très-petites valeurs de α tout autour de la position initiale de l'œil, la quantité $\omega + \theta$ soit nulle. Comme θ varie entre 0 et 2π quand on fait décrire à la ligne de regard toute la circonférence d'un cercle infiniment petit autour de la position initiale, il faut que ω varie en même temps de 0 à -2π, et que, par suite, sa valeur soit discontinue aux environs de la position initiale. Il est donc mieux d'introduire une autre variable

$$\eta = \omega + \theta$$

qui puisse être continue dans toute l'étendue du champ de regard. On a alors

$$\frac{d\omega}{d\alpha} = \frac{d\eta}{d\alpha} \qquad \text{et} \qquad \frac{d\omega}{d\theta} = \frac{d\eta}{d\theta} - 1$$
$$\delta\omega = \delta\eta.$$

Si nous exécutons, après cette substitution, l'intégration partielle de l'équation 6d), pour faire disparaître $\frac{d\delta\eta}{d\alpha}$ et $\frac{d\delta\eta}{d\theta}$, nous devons, conformément aux principes du calcul différentiel, annuler ensuite dans les deux intégrales, celle relative à la périphérie comme celle relative à la surface, les facteurs qui sont multipliés par $\delta\eta$, et nous obtenons :

1° Pour la périphérie, en la supposant parcourue dans le sens où croissent les θ,

$$\left.\begin{aligned} 0 = \sin\alpha\,\frac{d\eta}{d\alpha}\,d\theta - \left(\frac{d\eta}{d\theta} - 1 + \cos\alpha\right)\frac{d\alpha}{\sin\alpha} \\ - \operatorname{cotg}\mu\left[\sin\alpha\,.\,\sin(\eta-\theta)\,d\theta + \cos(\eta-\theta)\,d\alpha\right] \end{aligned}\right\} \ldots\ldots 7).$$

2° Pour la surface du champ de regard,

$$\left.0 = \frac{d}{d\alpha}\left(\sin\alpha\,\frac{d\eta}{d\alpha}\right) + \frac{1}{\sin\alpha}\,\frac{d^2\eta}{d\theta^2}\right\} \ldots\ldots\ldots 7\,a).$$

Il faut ajouter enfin l'équation 6 e), qui peut également s'intégrer une fois,

$$\left.\operatorname{cotg}\mu\int_0^{2\pi}(1-\cos\alpha)\,d\theta = \int\left[-\sin\alpha\cos(\eta-\theta)\,d\theta + \sin(\eta-\theta)\,d\alpha\right]\right\} \ldots\ldots 7\,b)$$

ces deux intégrales étant relatives à toute la périphérie. L'intégrale du premier membre, qui est multipliée par cot μ, est, comme on sait, l'expression de la surface du champ de regard. Pour simplifier ces équations, introduisons à la place de α une autre variable

$$\beta = \log \text{nat. tang}\,\frac{\alpha}{2},$$

ce qui donne

$$e^\beta = \operatorname{tang}\frac{\alpha}{2} \qquad \frac{2e^\beta}{1+e^{2\beta}} = \sin\alpha$$

$$d\beta = \frac{d\alpha}{\sin\alpha} \qquad \frac{1-e^{2\beta}}{1+e^{2\beta}} = \cos\alpha$$

et si ψ est une fonction quelconque de α, on a

$$\frac{d\psi}{d\beta} = \frac{d\psi}{d\alpha}\sin\alpha.$$

Substituant ces valeurs dans 7a), on obtient, pour l'intérieur du champ, l'équation

$$\left.\frac{d^2\eta}{d\beta^2} + \frac{d^2\eta}{d\theta^2} = 0\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots 7\,c)$$

et l'on déduit de 7), pour la périphérie :

$$\left.\begin{aligned} 0 = \frac{d\eta}{d\beta}\,d\theta - \left(\frac{d\eta}{d\theta} - \frac{2e^{2\beta}}{1+e^{2\beta}}\right)d\beta \\ - \operatorname{cotg}\mu\,.\,\frac{2e^\beta}{1+e^{2\beta}}\Big[\sin(\eta-\theta)\,d\theta \\ + \cos(\eta-\theta)\,d\theta\Big] \end{aligned}\right\} \ldots\ldots 7\,d)$$

et enfin, de 7b,

$$\cotg \mu \int \frac{2e^{2\beta}}{1+e^{2\beta}} d\theta = \int \frac{2e\beta}{1+e^{2\beta}} \left[\sin(\eta - \theta)\, d\beta - \cos(\eta - \theta)\, d\theta \right] \Bigg\} \ldots 7e).$$

On sait que toutes les intégrales réelles de l'équation 7c) peuvent être reproduites par la partie réelle d'une fonction quelconque ψ de la quantité complexe $\beta + \theta \sqrt{-1}$. Si l'on pose

$$\psi = \varphi + \chi i \Big\} \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots 8)$$

où φ et χ sont réels et $i = \sqrt{-1}$, φ et χ peuvent être également l'intégrale de l'équation 7c).

Pour que φ soit une intégrale appropriée à notre but, il faut d'abord qu'elle soit finie et déterminée pour tous les points de l'intérieur du champ de regard, même pour $\alpha = 0$ ou pour $\beta = -\infty$. Il faut, de plus, qu'elle satisfasse, le long du bord du champ de regard, aux équations 7d) et 7e).

Si nous nommons ψ' la dérivée de ψ par rapport à la variable complexe $\beta + \theta i$, il résulte de l'équation 8):

$$\frac{d\psi}{d\beta} = \psi' = \frac{d\varphi}{d\beta} + i \frac{d\chi}{d\beta}$$

$$\frac{d\psi}{d\theta} = i\psi' = \frac{d\varphi}{d\theta} + i \frac{d\chi}{d\theta},$$

et en éliminant ψ',

$$0 = i \frac{d\varphi}{d\beta} - \frac{d\chi}{d\beta} - \frac{d\varphi}{d\theta} - i \frac{d\chi}{d\theta}$$

ou bien

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\chi}{d\beta} + \frac{d\varphi}{d\theta} = 0 \\ \frac{d\chi}{d\theta} - \frac{d\varphi}{d\beta} = 0 \end{aligned} \right\} \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots 8\,a).$$

Posons de plus

$$Y = Y_0 + iY_1 = e^{\chi - \varphi i + \beta + \theta i},$$

cette quantité est également une fonction de $\beta + \theta i$, et l'on a :

$$\left. \begin{aligned} \frac{dY_0}{d\theta} + \frac{dY_1}{d\beta} = 0 \\ \frac{dY_0}{d\beta} - \frac{dY_1}{d\theta} = 0 \end{aligned} \right\} \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots 8\,b)$$

et

$$\left. \begin{aligned} Y_0 &= e^{\chi} e^{\beta} \cos(\varphi - \theta) \\ Y_1 &= -e^{\chi} e^{\beta} \sin(\varphi - \theta) \end{aligned} \right\} \ldots \ldots \ldots \ldots 8c).$$

Substituant maintenant φ à η dans l'équation 7d) et multipliant par

$$e^{\sigma} = e^{\chi}\ (1 + e^{2\beta}),$$

en posant

$$\sigma = \chi + \log \text{nat.}\ (1 + e^{2\beta}),$$

il vient, en tenant compte des équations 8a) et 8c),

$$0 = e^{\sigma} \frac{d\sigma}{d\theta} d\theta + e^{\sigma} \frac{d\sigma}{d\beta} d\beta + 2 \operatorname{cotg} \mu \left[Y_1 d\theta - Y_0 d\beta \right] \quad . \; . \; 8\,d).$$

Cette équation est une différentielle complète, car, d'après 8b),

$$\frac{dY_1}{d\beta} = \frac{d}{d\theta} \left(- Y_0 \right).$$

Effectivement, si nous intégrons la fonction Y par rapport à la variable complexe $\beta + \theta\, i$, et que l'intégrale soit

$$\Phi = \Phi_0 + i\Phi_1,$$

nous obtenons

$$\Phi' = Y$$

ou

$$\frac{d\Phi_0}{d\beta} + i \frac{d\Phi_1}{d\beta} = Y_0 + iY_1$$

$$\frac{d\Phi_0}{d\theta} + i \frac{d\Phi_1}{d\theta} = iY_0 - Y_1;$$

donc

$$Y_0 = \frac{d\Phi_0}{d\beta} = \frac{d\Phi_1}{d\theta}$$

$$Y_1 = \frac{d\Phi_1}{d\beta} = - \frac{d\Phi_0}{d\theta}.$$

Intégrée, l'équation 8d) donne donc pour la périphérie du champ

$$C = e^{\sigma} - 2 \operatorname{cotg} \mu \,.\, \Phi_0 \Big\} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 8e)$$

ou

$$\sigma = \chi + \log \text{nat.} \left(1 + e^{2\beta}\right) = \log \text{nat.} \left[C + 2 \operatorname{cotg} \mu \,.\, \Phi_0\right] \Big\} . \; . \; . \; 8f).$$

Mais les constantes C et μ doivent finalement satisfaire aussi à l'équation 7e), si l'angle μ est celui qui répond le mieux aux exigences du principe de la plus facile orientation.

Or, on peut montrer que la valeur $\operatorname{cotg} \mu = 0$ satisfait simultanément aux équations 8 f) et 7e). En effet, on a pour l'intégrale prise pour toute la périphérie du champ

$$\int Y_0\, d\theta + Y_1\, d\beta = \int \frac{d\Phi_1}{d\theta} d\theta + \frac{d\Phi_1}{d\beta} d\beta = 0,$$

si, ainsi que cela résulte de l'hypothèse faite sur φ, la valeur Φ_1 est partout finie et déterminée; car cette intégrale est égale à la différence des valeurs que prend Φ_1 au même point de la périphérie, avant et après en avoir fait le tour complet. Substituant aux quantités Y_0 et Y_1 leurs valeurs tirées de 8c), il vient

$$0 = \int \frac{e^{\sigma} \,.\, e^{\beta}}{1 + e^{2\beta}} \left[\cos(\varphi - \theta)\, d\theta - \sin(\varphi - \theta)\, d\beta \right].$$

Or, si l'on pose $\operatorname{cotg} \mu = 0$, il résulte de 8f) que la quantité σ devient constante

pour toute la périphérie, et qu'on peut, par conséquent, faire sortir le facteur e^{σ} du signe d'intégration. Nous avons donc, en posant cotg $\mu = 0$,

$$0 = \int \frac{e^{\beta}}{1 + e^{2\beta}} \left[\cos(\varphi - \theta)\, d\theta - \sin(\varphi - \theta)\, d\beta \right],$$

d'où il résulte que l'équation 7e) est satisfaite dans notre hypothèse.

Je ne vois pas encore le moyen de résoudre, pour une forme quelconque du champ de regard, la question de savoir si des valeurs autres que cotg $\mu = 0$ pourraient satisfaire aux conditions de la question. Mais comme, en réalité, le champ de regard se rapproche assez de la forme circulaire, il nous suffira de démontrer que, pour une forme circulaire, il n'existe pas d'autre valeur réelle que $\mu = 0$.

Loi des rotations pour un champ de regard circulaire. — Comme la fonction η que nous cherchons doit être la partie réelle d'une fonction arbitraire de $\beta + \theta i$ qui ne devienne ni infinie, ni indéterminée pour aucun point du champ de regard, y compris $\beta = -\infty$, elle est, en général, de la forme

$$\left.\begin{aligned} \eta = A_0 + A_1 e^{\beta} \cos(\theta + c_1) + A_2 e^{2\beta} \cos(2\theta + c_2) \\ + A_3 e^{3\beta} \cos(3\theta + c_3) + \text{etc.} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots \quad 9)$$

où les lettres A et c désignent des constantes arbitraires. Le χ correspondant sera alors

$$\left.\begin{aligned} \chi = A_1 e^{\beta} \sin(\theta + c_1) + A_2 e^{2\beta} \sin(2\theta + c_2) \\ + A_3 e^{3\beta} \sin(3\theta + c_3) + \text{etc.} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots \quad 9a)$$

et si l'on a cotg $\mu = 0$, l'équation de la périphérie devient

$$\chi = \log \text{nat.} \frac{C}{1 + e^{2\beta}} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 9b).$$

La quantité e^{β} que l'on rencontre dans toutes ces questions est égale à tang $1/2\,\alpha$. La question est donc résolue si l'on peut mettre sous la forme 9b) l'équation entre α et θ qui détermine le contour, car, en partant de χ, on peut toujours facilement trouver l'angle η qui mesure l'écart de la loi de Listing.

Nous allons rechercher maintenant quelle forme prend le champ pour l'hypothèse d'une valeur constante de η, ou bien, comme la valeur absolue de cette quantité est indifférente, pour

$$\eta = 0 \, \} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 10).$$

En revanche, nous laisserons indéterminée la valeur de cotg μ.

De cette hypothèse 10) il résulte également $\chi = 0$, et les quantités Y des équations 8c) deviennent :

$$Y_0 = e^{\beta} \cos\theta$$
$$Y_1 = e^{\beta} \sin\theta$$
$$Y_0 + Y_1 i = e^{\beta + \theta i} = \Phi_0 + \Phi_1 i.$$

L'équation 8f) de la périphérie devient donc

$$1 + e^{2\beta} = C + 2e^{\beta} \cos\theta \,.\, \text{cotg}\,\mu.$$

Remplaçant e^{β} par sa valeur tang 1/2 α, cette équation peut s'écrire

$$\operatorname{tang}\frac{\alpha}{2} + (1 - C)\operatorname{cotg}\frac{\alpha}{2} = 2\cos\theta \,.\, \operatorname{cotg}\mu \Big\} \ldots \quad 10a)$$

ce qui est l'équation d'un cercle. En effet, dans le triangle sphérique ci-contre (fig. 165) on a, d'après une formule connue,

$$\cos\rho = \cos\alpha\cos\gamma + \sin\alpha\sin\gamma\,.\,\cos\theta,$$

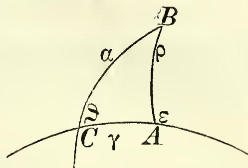


Fig. 165.

ce qui donne, en exprimant sin α et cos α en fonction de tang 1/2 α,

$$\cos\rho\left(1 + \operatorname{tang}^2\frac{\alpha}{2}\right) = \cos\gamma\left(1 - \operatorname{tang}^2\frac{\alpha}{2}\right) + 2\operatorname{tang}\frac{\alpha}{2}\,.\,\sin\gamma\cos\theta$$

ou

$$(\cos\rho + \cos\gamma)\operatorname{tang}\frac{\alpha}{2} + (\cos\rho - \cos\gamma)\operatorname{cotg}\frac{\alpha}{2} = 2\sin\gamma\cos\theta \Big\}\ldots\ 10\,b).$$

Si nous posons donc

$$\frac{\cos\rho - \cos\gamma}{\cos\rho + \cos\gamma} = 1 - C \quad \text{et} \quad \frac{\sin\gamma}{\cos\rho + \cos\gamma} = \operatorname{cotg}\mu \Big\} \ldots.\ 10c)$$

l'équation 10b) est identique avec 10a), et il résulte des deux dernières équations une valeur constante de la quantité ρ qui exprime, sur la surface sphérique, la distance angulaire du point A au point B, situé à la périphérie du champ de regard. Pour $\eta = 0$, la périphérie du champ de regard est donc un cercle dont le centre est en A et qui est décrit par un arc d'ouverture ρ.

Nous pouvons employer sous la forme 7b) la deuxième équation de la périphérie. Ainsi que nous l'avons déjà remarqué, — et c'est sous la forme 6e) que c'est le plus facile à voir, — l'intégrale du premier membre de cette équation donne la surface du champ visuel, que nous voulons maintenant exprimer en fonction de ρ, de sorte que nous avons

$$2\pi\operatorname{cotg}\mu\,.\,(1 - \cos\rho) = -\int \sin\alpha\cos\theta\, d\theta + \sin\theta\, d\alpha \Big\}\ldots\ 10\,d).$$

Appliquant maintenant au triangle sphérique de la figure 165 les formules connues de trigonométrie sphérique

$$\cos\alpha = \cos\gamma\cos\rho - \sin\gamma\sin\rho\cos\varepsilon$$
$$\sin\theta\sin\alpha = \sin\rho\sin\varepsilon$$

et les différenciant toutes deux par rapport à α et θ, en considérant ρ comme constant pour la périphérie du champ visuel, nous trouvons le long de cette périphérie

$$\cos\theta\sin\alpha\, d\theta + \sin\theta\cos\alpha\, d\alpha = \sin\rho\cos\varepsilon\, d\varepsilon$$
$$\sin\alpha\, d\alpha = - \sin\gamma\sin\rho\sin\varepsilon\, d\varepsilon$$

ou

$$\sin\theta\, d\alpha = - \frac{\sin\gamma\sin^2\rho\sin^2\varepsilon\, d\varepsilon}{\sin^2\alpha}.$$

Ces valeurs, transportées dans l'intégrale de l'équation 10d), donnent

$$2\pi \operatorname{cotg} \mu (1 - \cos \rho)$$

$$= -\int_0^{2\pi} \frac{\sin \rho \cos \varepsilon + \cos \gamma \cos \rho \sin \rho \cos \varepsilon - \sin \gamma \sin^2 \rho}{1 + \cos \rho \cos \gamma - \sin \gamma \sin \rho \cos \varepsilon} d\varepsilon.$$

En posant ici, pour abréger

$$1 + \cos \gamma \cos \rho = a$$

$$\sin \gamma \sin \rho = b$$

$$\operatorname{tang} \frac{\varepsilon}{2} = x,$$

nous pouvons amener l'intégrale à la forme

$$2\pi \operatorname{cotg} \mu (1 - \cos \rho)$$

$$= - \sin \rho \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{a+b}{b} \frac{dx}{1 + \frac{a+b}{a-b} x^2} + \frac{a \sin \rho}{b} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dx}{1 + x^2}$$

$$= \frac{\pi \sin \rho}{b} \left(a - \sqrt{a^2 - b^2}\right).$$

Exprimant de nouveau cotg μ, a et b en fonction de γ et de ρ, il vient

$$\frac{2 \sin \gamma (1 - \cos \rho)}{\cos \rho + \cos \gamma} = \frac{1}{\sin \gamma} (1 + \cos \gamma \cos \rho - \cos \gamma - \cos \rho)$$

ou

$$2 \sin^2 \gamma (1 - \cos \rho) = (\cos \rho + \cos \gamma) [1 + \cos \gamma \cos \rho - \cos \gamma - \cos \rho] \Big\} \ldots 10e)$$

ce qu'on peut encore écrire

$$(1 - \cos \gamma)(1 - \cos \rho) \{2 + \cos \gamma - \cos \rho\} = 0 \Big\} \ldots\ldots\ldots\ldots 10f)$$

d'où il résulte que la seule valeur réelle de cos γ, qui annule cette équation, est

$$\cos \gamma = 1,$$

d'où il résulte

$$\sin \gamma = 0 \quad \text{et} \quad \operatorname{cotg} \mu = 0.$$

La seconde valeur de cos γ, que donne l'équation 10f), serait inférieure à — 1, à savoir

$$\cos \gamma = \cos \rho - 2$$

et répondrait par conséquent à un arc imaginaire.

Le calcul qui précède (1) a été fait dans l'hypothèse que les mouvements de l'œil s'exécutent avec une égale fréquence dans tous les sens, ce qui n'est assuré-

(1) Le calcul a été poussé plus loin ici que dans la première publication de ces recherches (*Archiv für Ophthalmologie*, 1863, IX, 2, p. 195). — J'avais encore considéré, à cette époque, l'angle μ que la ligne de regard forme avec la ligne atrope comme déterminé et faible. C'est seulement plus tard qu'il m'a été donné de démontrer que les conséquences du principe sur lequel je me fonde exigent que cet angle soit nul.

ment pas absolument conforme à la vérité. En effet, nous maintenons, en général, le regard aux environs du milieu du champ qu'il lui est donné de parcourir, et comme nous parcourons moins fréquemment les parties périphériques du champ, elles doivent exercer sur la loi des mouvements une influence moins grande que ne font les parties centrales. Il m'a paru inutile de tenir compte de cette circonstance dans le calcul, car nous ne connaissons pas de chiffres exacts à ce sujet, et il est facile de se rendre compte de l'influence que cela peut avoir sur le résultat. De l'équation 9), que nous pouvons écrire

$$\eta = A_0 + A_1 \text{ tang } \frac{\alpha}{2} \cos(\theta + c_1) + A_2 \text{ tang}^2 \frac{\alpha}{2} \,.\, \cos(2\theta + c_2)$$
$$+ A_3 \text{ tang}^3 \frac{\alpha}{2} \cos(3\theta + c_3), \text{ etc.}$$

et où nous pouvons encore déplacer l'origine des coordonnées de manière à annuler le terme en tang $1/2\,a$, il résulte que η est à peu près constant pour de petites valeurs de α, et que ce n'est que vers la périphérie, où les valeurs de tang $1/2\,a$ deviennent plus grandes, qu'il peut se présenter des écarts sensibles de la loi de Listing. Si donc les parties périphériques du champ visuel exercent en général peu d'influence, les écarts que la forme non circulaire du champ peut produire par rapport à la loi de Listing doivent être encore moindres que si les parties périphériques étaient souvent parcourues.

De plus, il n'est sans doute pas absolument exact d'admettre que les mouvements des yeux se produisent, dans le champ visuel, avec une égale fréquence dans tous les sens. C'est ainsi que je remarque, chez moi-même, une tendance à éviter les mouvements dirigés parallèlement à la périphérie du champ visuel, particulièrement lorsque je cherche à reconnaître exactement la forme et l'étendue de l'objet qui occupe mon attention. J'éprouve alors une tendance involontaire à tourner la tête de telle sorte que les mouvements du regard viennent se placer dans des méridiens du champ de regard qui passent par la position primaire. C'est ainsi que je puis suivre du regard, sur une grande longueur, une ligne située verticalement, sans être tenté de déplacer la tête, tandis que pour parcourir une ligne horizontale placée en haut, il m'est plus naturel de lever la tête, pour amener la ligne dans la position primaire, que d'élever simplement le plan de visée.

Il me semble donc que, parmi les mouvements des yeux, ceux-là sont préférés qui parcourent dans le champ de regard des méridiens passant par la position primaire. Ces mouvements sont aussi ceux qui ne sont accompagnés d'aucune rotation apparente des objets, et c'est de là, sans doute, que vient leur prépondérance. De plus, quand la loi de Listing est devenue généralement applicable aux mouvements d'un certain œil, la tendance à s'écarter de la loi, par suite d'irrégularités quelconques du champ visuel, doit devenir moindre.

E. Hering (1) a encore insisté sur ce que, par suite de l'inspection fréquente d'objets rapprochés, l'œil se dirige relativement bien plus souvent en dedans qu'en dehors. Mais, ainsi que Volkmann l'a montré expérimentalement, et ainsi que

(1) Beiträge zur Physiologie, IV, 272.

nous avons cherché à l'expliquer théoriquement, il est nécessaire et permis, — du moins pour les yeux myopes, — de séparer l'étude des mouvements en état de parallélisme d'avec celle des mouvements pendant la convergence ; par suite, cette circonstance n'est pas à considérer dans l'étude des mouvements de torsion qui se produisent pendant le parallélisme.

En revanche, il ne faut pas oublier que nous employons les positions parallèles principalement pour les parties supérieures du champ de regard, parce que ce n'est que dans ces régions que nous rencontrons ordinairement des objets très-éloignés ; nous ne faisons guère usage, au contraire, des positions convergentes que pour les parties inférieures du champ visuel, qui comprennent le sol, nos mains et les objets que nous manions. Quand on essaye de regarder avec des lignes visuelles parallèles deux points marqués sur un papier, à une distance égale à celle des yeux, la fusion de leurs images est bien plus difficile à obtenir pour une position abaissée que pour une position élevée du plan visuel ; inversement, la convergence sur un point voisin est bien plus difficile quand sa position exige que nous élevions les yeux que lorsqu'il nous faut regarder en bas : nous devons donc nous attendre, pour les positions convergentes, à voir les mouvements de torsion s'écarter de ce qu'ils seraient pour des positions parallèles, dans le même sens que si la position primaire relative à la convergence était située plus bas et plus en dedans que pour le parallélisme. Et les expériences paraissent jusqu'ici confirmer cette supposition.

Il me paraît vraisemblable, d'ailleurs, que des manières individuelles, particulières aux différentes personnes, puissent introduire, par l'effet de l'habitude, des écarts de toute espèce dans les mouvements des yeux : cela ne doit pas nous étonner pour une loi qui n'est qu'un effet de l'exercice et qui peut être rompue à volonté. La myopie paraît exercer également une influence considérable, qu'il faut attribuer, soit à l'emploi plus fréquent des positions convergentes, soit à la difformité du bulbe, qui peut introduire des obstacles mécaniques. L'habitude de verres de lunettes inexactement centrés peut même exercer une influence de ce genre.

Une circonstance qui mérite peut-être de n'être pas oubliée, est la suivante. — La manière dont l'œil est rattaché à la conjonctive et même au tissu connectif et au coussin graisseux de l'orbite est telle, que les mouvements conformes à la loi de Listing produisent les moindres tractions sur ces parties. Toute torsion considérable, non conforme à la loi de Listing, entraînerait nécessairement un tiraillement et un plissement de certaines parties de la conjonctive. On voit donc que sous ce rapport aussi, les mouvements conformes à la loi de Listing seraient accompagnés du moindre effort et de la moindre gêne, ainsi que Fick et Meissner l'ont trouvé relativement aux muscles.

Je me permettrai de signaler encore une méthode qui simplifie extraordinairement les calculs compliqués relatifs aux positions des points d'un corps mobile autour d'un point fixe, et qui permet bien mieux d'en saisir l'ensemble, mais qui suppose que le lecteur soit familiarisé avec l'application des coordonnées complexes pour les points d'un plan.

Pour transporter sur un plan les points d'une surface sphérique, j'emploierai la *projection stéréographique*, généralement employée pour les cartes géographiques. — Soit AB (fig. 166) le plan de projection, C le centre de la sphère dont la surface est à projeter, CK la perpendiculaire abaissée de ce centre sur le plan AB, et dont le prolongement coupe la surface sphérique en D; je me figure un œil situé en D et les points de la surface sphérique transportés au point du plan où ils se projetteraient pour l'œil situé en D. C'est ainsi que pour obtenir la projection du point F de la sphère, je joins DF et je prolonge cette ligne droite jusqu'à son intersection A avec le plan AB.

On sait que, par ce procédé de projection, les petits éléments de surface du dessin sphérique se représentent par des éléments géométriquement semblables sur le plan, bien que la proportion de l'augmentation de grandeur varie d'un point à l'autre du dessin plan. Tous les cercles de la sphère se représentent sur le plan suivant des cercles ou des lignes droites, lesquelles peuvent être considérées comme des cercles de rayon infini. Ce sont tous les cercles qui, sur la sphère, passent par le point D, qui se projettent ainsi suivant des lignes droites, ainsi qu'il est facile de le voir en se figurant les plans de ces cercles, qui coupent le plan AB suivant des lignes droites qui sont précisément les projections de ces cercles.

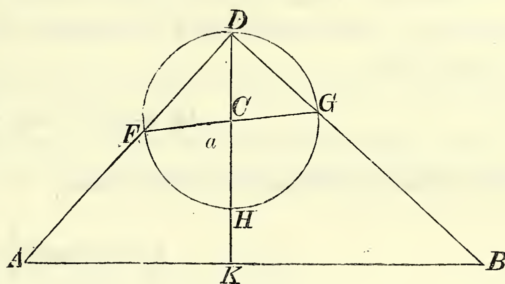


Fig. 166.

Les grands cercles qui passent par le point D, et qui, pour ce motif, se projettent sur le plan suivant des lignes droites, passent nécessairement par le point D, diamétralement opposé à H; leur projection passe donc par le pied de la perpendiculaire CK. Ainsi les lignes droites qui passent par le point K, centre du dessin plan, correspondent à des grands cercles.

Pour les points de celui des grands cercles de la sphère qui est parallèle au plan AB, l'angle FDK est de 45 degrés, et, par suite, la distance AK est égale à la distance DK, que nous prendrons pour unité de longueur. Ce cercle se projette donc sur le plan suivant un cercle de rayon 1 et dont le centre est en K.

Nous le nommerons *cercle équatorial.*

Tous les autres grands cercles de la sphère coupent chacun le cercle équatorial en deux points diamétralement opposés. A ces points correspondent aussi dans le plan deux points diamétralement opposés du cercle équatorial. Il en résulte que les cercles du plan qui coupent le cercle équatorial de ce plan en deux points diamétralement opposés correspondent à des grands cercles de la sphère.

Si le point G est diamétralement opposé au point F de la sphère, FDG est un angle droit, et B étant la projection de G, de la similitude des triangles AKD et DKB, il résulte

$$AK : DK = DK : KB,$$

ou bien, en prenant DK pour unité de longueur, ainsi que nous en sommes convenus,

$$AK = \frac{1}{KB}.$$

Les distances du centre K aux projections de points diamétralement opposés sur la sphère, sont donc inverses l'une de l'autre. Il est clair que ces deux projections sont situées de part et d'autre du centre K du dessin, sur une droite qui passe par ce centre.

La projection du point D de la sphère, diamétralement opposé au point K, est à l'infini.

Nommons a l'angle au centre FCH, l'angle inscrit FDH, qui comprend le même arc, a pour mesure $1/2\ a$, et la distance de la projection A du point F au centre K est

$$AK = DK \,.\, \text{tang}\, \frac{a}{2}$$

ou, comme nous avons pris DK pour unité,

$$AK = \text{tang}\, \frac{a}{2}.$$

Considérons, comme plus haut, le centre C de la sphère comme l'origine d'un système de coordonnées ξ, υ, ζ, dont l'axe des ξ soit la normale CK, et dont le plan des $\upsilon\zeta$ soit, par conséquent, parallèle au plan AB. Soit t l'angle que le plan du dessin fait avec le plan des $\xi\upsilon$, et soit r le rayon de la sphère, les coordonnées du point F sont

$$\xi = r \cos a$$

$$\upsilon = r \sin a \cos t = 2r \frac{\text{tang}\, \frac{a}{2} \,.\, \cos t}{1 + \text{tang}^2\, \frac{a}{2}}$$

$$\zeta = r \sin a \sin t = 2r \frac{\text{tang}\, \frac{a}{2} \,.\, \sin t}{1 + \text{tang}^2\, \frac{a}{2}}.$$

Et les coordonnées du point A, que nous nommerons ξ', υ', ζ', sont

$$\xi' = 1 - r$$

$$\upsilon' = AK \,.\, \cos t = \text{tang}\, \frac{a}{2} \,.\, \cos t$$

$$\zeta' = AK \,.\, \sin t = \text{tang}\, \frac{a}{2} \,.\, \sin t$$

d'où il résulte

$$\upsilon' = \frac{\upsilon}{2r\cos^2\frac{a}{2}} = \frac{\upsilon}{r+\xi}$$

$$\zeta' = \frac{\zeta}{2r\cos^2\frac{a}{2}} = \frac{\zeta}{r+\xi}.$$

Réunissant υ' et ζ' en une seule variable complexe, on a

$$\left.\varkappa = \upsilon' + i\zeta' = \frac{\upsilon + i\zeta}{r+\xi} = \text{tang}\,\frac{a}{2}\,.\,e^{it}\right\}\ldots\ldots 11),$$

en posant

$$i = \sqrt{-1},$$

et à chaque valeur de $\varkappa$ répond un point du plan, et par suite aussi un point de la surface sphérique.

Nommons $\varkappa'$ la valeur de $\varkappa$ pour le point diamétralement opposé. Pour ce point, les valeurs de ξ, υ, ζ sont les mêmes que pour le point A, au signe près. Nous avons donc

$$\varkappa' = -\frac{\upsilon + i\zeta}{r-\xi} = -\frac{r+\xi}{\upsilon - i\zeta}$$

$$= -\frac{1}{\upsilon' - i\zeta'} = -\,\text{cotg}\,\frac{a}{2}\,.\,e^{it}.$$

Donc

$$\left.\begin{aligned} \frac{\upsilon + i\zeta}{r+\xi} &= \varkappa, & \frac{\upsilon - i\zeta}{r+\xi} &= -\frac{1}{\varkappa'} \\ \frac{r-\xi}{r+\xi} &= -\frac{\varkappa}{\varkappa'}, & \frac{2\xi}{r+\xi} &= \frac{\varkappa' + \varkappa}{\varkappa'} \end{aligned}\right\}\ldots\ldots\ldots 11\,a)$$

Formons maintenant les expressions correspondantes relatives à la position de la sphère après rotation autour du point C, position pour laquelle nous avons les coordonnées x, y, z données par les équations 1c) (page 632). Nommons k la valeur de $\varkappa$ après la rotation, nous avons, d'après l'équation 11),

$$k = \frac{y + iz}{r + x}$$

$$= e^{-i\theta}\,.\,\frac{\xi\,.\sin\alpha + \upsilon(\cos\alpha\,.\cos\omega - i\,.\sin\omega) + \zeta(\cos\alpha\,.\sin\omega + i\,.\cos\omega)}{r + \xi\,.\cos\alpha - \upsilon\,.\cos\omega.\,\sin\alpha - \zeta\,.\sin\omega\,.\sin\alpha}.$$

En exprimant dans cette équation $\sin\alpha$ et $\cos\alpha$ en fonction de tang $1/2\,\alpha$, on peut l'amener sous la forme

$$k = e^{-i\theta}\,\frac{2\xi + (\upsilon + i\zeta)\,e^{-i\omega}\,\text{cotg}\,\frac{\alpha}{2} - (\upsilon - i\zeta)\,e^{+i\omega}\,\text{tang}\,\frac{\alpha}{2}}{(r+\xi)\,\text{cotg}\,\frac{\alpha}{2} + (r-\xi)\,\text{tang}\,\frac{\alpha}{2} - (\upsilon + i\zeta)\,e^{-i\omega} - (\upsilon - i\zeta)\,e^{i\omega}},$$

multipliant haut et bas par

$$\frac{\text{x}'}{r+\xi}$$

on obtient, en tenant compte des équations 11a),

$$k = \frac{\text{x}' + \text{x} + \text{x}\text{x}' e^{-i\omega} \operatorname{cotg} \frac{\alpha}{2} + e^{i\omega} \operatorname{tang} \frac{\alpha}{2}}{\text{x}' \operatorname{cotg} \frac{\alpha}{2} - \text{x} \operatorname{tang} \frac{\alpha}{2} - \text{x}'\text{x}\, e^{-i\omega} + e^{i\omega}} e^{-i\theta}$$

ou

$$k = e^{-i\theta} \operatorname{cotg} \left\{\frac{\alpha}{2}\right\} \frac{\left\{ \text{x} + e^{i\omega} \operatorname{tang} \frac{\alpha}{2} \right\} \left\{ \text{x}' + e^{i\omega} \operatorname{tang} \frac{\alpha}{2} \right\}}{\left\{ e^{i\omega} - \text{x} \operatorname{tang} \frac{\alpha}{2} \right\} \left\{ e^{i\omega} + \text{x}' \operatorname{cotg} \frac{\alpha}{2} \right\}}$$

ou bien, comme le numérateur et le dénominateur contiennent le facteur commun $\left(\text{x}' \operatorname{cotg} \frac{\alpha}{2} + e^{i\omega}\right)$,

$$k = e^{-i(\theta+\omega)} \frac{\text{x} + e^{i\omega} \operatorname{tang} \frac{\alpha}{2}}{1 - \text{x}\, e^{-i\omega} \operatorname{tang} \frac{\alpha}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 11\text{b}).$$

On voit donc que toute rotation de la sphère ne correspond qu'à une transformation linéaire de la variable x. Cependant toute transformation linéaire ne répond pas à un simple déplacement de la sphère. En effet, mettons cette transformation sous la forme générale

$$k = a \frac{\text{x} + b}{1 - \text{x}c},$$

il vient

$$\begin{aligned} k &= 0 \quad \text{pour} \quad \text{x} = -b \\ k &= \infty \quad \text{pour} \quad \text{x} = \frac{1}{c} \\ \text{x} &= 0 \quad \text{pour} \quad k = ab \\ \text{x} &= \infty \quad \text{pour} \quad k = -\frac{a}{c}. \end{aligned}$$

Mais 0 et ∞ sont des points diamétralement opposés de la sphère; il faut donc aussi que

$$-b \quad \text{et} \quad \frac{1}{c}$$

$$ab \quad \text{et} \quad -\frac{a}{c}$$

soient des points diamétralement opposés. Cela veut dire, d'après 11a), que b et c, ab et $\frac{c}{a}$ doivent être des quantités complexes conjuguées. Si cela a lieu pour b

et c, il résulte de la relation entre ab et $\frac{c}{a}$ que a doit avoir le module 1. La forme générale d'une transformation de ce genre qui corresponde à un mouvement de la sphère est donc

$$k = e^{i\eta} \frac{x + a + bi}{1 - x\,(a - bi)} \Bigg\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 11\,\mathrm{c}).$$

Il est facile de voir que l'équation 11b) est de cette forme. La combinaison de cette équation avec la condition

$$\xi^2 + \upsilon^2 + \zeta^2 = r^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

remplace le système compliqué des équations 1b).

Pour trouver l'axe de rotation, il faut remarquer que les points de cet axe conservent leur position, ce qui donne pour eux la condition $x = k$. Introduisant cette condition dans 11c), on obtient une équation du second degré en x dont les deux racines sont les extrémités diamétralement opposées, x et x', de l'axe de rotation. Cette équation est

$$0 = x^2 + \frac{e^{i\eta} - 1}{a - bi}\, x + \frac{a + bi}{a - bi}\, e^{i\eta}.$$

Il en résulte

$$x + x' = \frac{1 - e^{i\eta}}{a - bi}, \qquad xx' = \frac{a + bi}{a - bi}\, e^{i\eta}.$$

Comme x et x' sont de la forme

$$x = e^{it} \operatorname{tang} \frac{\beta}{2}$$

$$x' = -\, e^{it} \operatorname{cotg} \frac{\beta}{2},$$

il vient

$$x + x' = 2\, e^{it} \operatorname{cotg} \beta; \qquad xx' = -\, e^{2it},$$

Si nous posons

$$a + bi = re^{i\theta},$$

on a

$$e^{it} = \sqrt{-\, xx'} = e^{i(\theta + \frac{1}{2}\eta)}$$

$$\operatorname{cotg} \beta = \frac{x + x'}{2\sqrt{-\, xx'}} = \pm \frac{\sin\left(\frac{1}{2}\eta\right)}{r},$$

ce qui définit la position de l'axe de rotation.

Si l'on a $\eta = 0$, on a aussi $x + x' = \operatorname{cotg} \beta = 0$, et l'axe de rotation est alors parallèle au plan du dessin. Un semblable mouvement satisfait donc la loi de Listing, si l'on considère la perpendiculaire abaissée du centre de la sphère sur

le plan comme étant la ligne de regard dans sa position primaire, ligne dont la position se trouve définie par la coordonnée $\varkappa = 0$.

Employons encore la méthode dont nous venons de faire usage pour calculer les angles d'écart η relatifs au cas où la position à partir de laquelle on a fait les mensurations n'était pas la position primaire, question qui nécessiterait des calculs excessivement longs si l'on voulait la résoudre en partant des équations 1b).

Soit $a + bi$ l'ordonnée de la position primaire de la ligne de regard. Je la ramène à l'origine, au moyen d'une rotation conforme à la loi de Listing, par la transformation

$$k = \frac{\varkappa - (a + bi)}{1 + \varkappa(a - bi)}.$$

Si je dirige maintenant, conformément encore à la loi de Listing, le regard vers un nouveau point pour lequel on ait $\varkappa = c + di$, et, par suite,

$$k = \frac{(c - a) + (d - b)i}{1 + (c + di)(a - bi)},$$

près cette transformation, la nouvelle variable $\mathfrak{k}$ devient

$$\mathfrak{k} = \frac{k - \dfrac{(c - a) + (d - b)i}{1 + (c + di)(a - bi)}}{1 + k\dfrac{(c - a) - (d - b)i}{1 + (c - di)(a + bi)}}.$$

Remplaçant k par sa valeur exprimée en $\varkappa$, on obtient

$$\mathfrak{k} = \frac{\varkappa - (c + di)}{1 + \varkappa(c - di)} \cdot \frac{1 + (c - di)(a + bi)}{1 + (c + di)(a - bi)}$$

ou

$$\mathfrak{k} = e^{i\eta}\frac{\varkappa - (c + di)}{1 + \varkappa(c - di)},$$

en posant

$$e^{i\eta} = \frac{1 + (a + bi)(c - di)}{1 + (a - bi)(c + di)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 11\text{ d}).$$

Cette dernière équation donne η, en la décomposant en sa partie réelle et sa partie imaginaire, et posant

$$a + bi = re^{it}$$

$$c + di = \rho e^{i\tau} = \text{tang}\,\frac{\alpha}{2} \cdot e^{i\tau}$$

$$\cos\eta = \frac{1 + 2r\rho\cos(t - \tau) + r^2\rho^2\cos[2(t - \tau)]}{1 + 2r\rho\cos(t - \tau) + r^2\rho^2}$$

$$\sin\eta = \frac{2[1 + r\rho\cos(t - \tau)]\,r\rho\sin(t - \tau)}{1 + 2r\rho\cos(t - \tau) + r^2\rho^2}.$$

Ces expressions donnent donc les rotations quand, dans les expériences, on est parti d'une position différente de la position primaire. Si l'écart r est faible, le expressions deviennent plus claires en développant en série l'expression de log ($e^{i\eta}$) de l'équation 11d)

$$\frac{1}{2}\eta = r\rho \sin (t-\tau) - \frac{1}{2} r^2 \rho^2 \sin 2 (t-\tau) + \frac{1}{3} r^3 \rho^3 \sin 3 (t-\tau), \text{ etc.}$$

Cette expression est de la forme de l'équation 9 (page 670) et peut être facilement employée pour le calcul des écarts.

Méthode géométrique conduisant au même but. — La projection stéréographique des points d'une sphère sur un plan donne encore un moyen commode non-seulement de se représenter par des constructions linéaires simples, mais encore de rendre mesurables les torsions de l'œil, sans avoir recours à des calculs compliqués.

Supposons les points du champ de regard reportés stéréographiquement sur un plan. — Si l'on a employé pour la mensuration la *longitude* et la *latitude*, comme Fick, Meissner et Wundt, on peut employer à cet effet les tracés des méridiens et des parallèles d'une demi-mappemonde. Les méridiens mesurent la *longitude* de Fick (l des équations 4e et 4f de la page 641) et les parallèles mesurent la *latitude* de cet auteur (m des mêmes équations). On sait que les méridiens d'une pareille carte sont des arcs de cercle qui passent par les deux pôles et coupent la ligne droite qui représente l'équateur à une distance du centre égale à R tang $1/2\ l$, si l'on désigne par R le rayon de la circonférence de la carte. Les parallèles coupent la périphérie en des points situés à une distance angulaire m de l'équateur, et le diamètre vertical du cercle à une distance R tang $1/2\ m$. Ces remarques suffisent pour construire tous ces cercles.

Si l'on emploie l'*angle ascensionnel* λ et l'*angle latéral* μ, il faut mettre les deux pôles à droite et à gauche, et l'équateur verticalement. Alors encore les méridiens mesurent l'angle λ, et les parallèles l'angle μ.

Si l'on a déterminé, à l'exemple de Volkmann, la position des points au moyen de méridiens du champ de regard et de distances angulaires mesurées sur ces méridiens à partir du pôle du champ de regard, il faut employer des systèmes de lignes analogues à ceux employés dans les cartes des régions circumpolaires. Les méridiens du champ de regard sont alors des lignes droites qui passent par le centre du cercle et s'y coupent sous les mêmes angles que les méridiens. Sur ces lignes, un arc α, mesuré à partir du pôle, se représente par la longueur R tang $1/2\ \alpha$.

Représentons par le cercle *afbg* (fig. 166 *bis*, p. 662) la périphérie de la projection stéréographique du champ hémisphérique ; soit c le centre, qui est l'origine des mensurations angulaires, et h le point pour lequel on veut déterminer l'angle de torsion de l'œil. Nous distinguons deux cas :

1° *Le centre* c *répond à la positoin primaire de l'œil.* — Construction. — Abaissez du point h une perpendiculaire sur la ligne horizontale *ab* et prolongez-la

d'une longueur égale à elle-même, jusqu'en i; joignez hf et if : *l'angle* hfi *est égal à celui dont le méridien vertical de l'œil s'est éloigné de la verticale.* Cet angle est celui désigné par k' dans les équations 4e) et 4f) de la page 641.

Démonstration. — c étant la position primaire de l'œil, quand le regard va de c en h en suivant la ligne droite ch, qui représente un méridien du champ de regard, la loi de Listing veut que la ligne ch glisse sur elle-même. Or, comme dans le plan de la projection stéréographique, des angles dièdres égaux doivent toujours être représentés par des angles égaux, un élément vertical du champ visuel qui passe le point de regard c doit faire le même angle avec la ligne cl quand le regard

Fig. 166 *bis.*

s'est porté en h : il doit donc être resté vertical. En revanche, un plan absolument vertical mené par l'œil et le point h coupe le champ de regard suivant le grand cercle représenté par l'arc *fhig*. L'angle formé par le méridien rétinien vertical et le plan vertical mené par la ligne de regard est égal à l'angle formé en h par la tangente au cercle *fhig* en ce point avec la ligne verticale hi, qui est une corde de ce cercle, et cet angle est égal, à son tour, à l'angle hfi, leur mesure commune étant la moitié de l'arc hi.

La construction indiquée présente l'avantage de donner l'angle hfi sans qu'il soit nécessaire de tracer le cercle *fhig*. Pour définir le sens de la rotation, remarquons que le méridien vertical de la rétine est tourné par rapport à la verticale absolue comme la ligne fi par rapport à fh. Ainsi, dans le cas de la figure, sa torsion a lieu dans le sens *direct*.

Construction de la position de l'horizon rétinien. — Abaissez du point h une perpendiculaire sur le diamètre vertical fg, et prolongez-la d'une longueur égale à elle-même jusqu'en k, joignant ha et ka, l'angle kah mesure l'angle que forment entre eux l'*horizon rétinien* et le *plan de visée*, pour le regard porté en h. La position de l'horizon rétinien, par rapport au plan de visée, est la même que

celle de *ak* par rapport à *ah*, c'est-à-dire que, dans le cas actuel, la rotation est de sens *inverse*.

Démonstration — analogue à la précédente.

2° *Le centre* c *ne répond pas à la position primaire de la ligne de regard.* — Dans ce cas, les angles *hfi* et *hak* subissent une correction qu'on peut construire de la manière suivante :

Construction. — Soit *m* le point de la projection qui répond à la position primaire de la ligne visuelle. Joignez *mc* et prolongez jusqu'en un point *n* tel qu'on ait

$$nc \,.\, mc = ac \,.\, ac$$

Le point *n* est alors la projection du point diamétralement opposé à *m* dans le champ de regard sphérique. Joignez *hn*, la rotation du méridien vertical par rapport à la verticale est

$$\angle\, hfi - 2 \angle\, hnm$$

et la rotation de l'horizon rétinien par rapport au plan de visée est

$$-\angle\, kah - 2 \angle\, hnm$$

Les angles se retranchent quand leur second côté est tourné dans le même sens par rapport au côté qui passe par *h*; ils s'ajoutent quand leur second côté est tourné de sens contraire.

Démonstration. — Comme les points *m* et *n* sont diamétralement opposés, les cercles menés par *m* et *n*, ainsi que la ligne *mn*, représentent des méridiens du champ de regard qui passent par la position primaire de la ligne de regard, et qui, par suite, se déplacent le long d'eux-mêmes lorsque le regard les parcourt. Supposons que l'œil, dirigé d'abord vers *c*, prenne l'image accidentelle d'une ligne verticale située en ce point; cette image est verticale elle-même et coïncide avec *fg*. Amenons le regard en *m*; en ce point, l'image accidentelle doit encore être verticale. Faisons passer le regard de *m* en *h*, en longeant le grand cercle représenté par l'arc *mhn*; l'image accidentelle doit faire en *h*, avec la tangente au cercle, le même angle que la verticale avec la tangente en *m*. L'image accidentelle s'éloigne donc de la verticale d'un angle égal à celui que font entre elles les tangentes en *m* et en *h*, ou du double de la valeur de l'angle inscrit *hnm* dont les côtés comprennent l'arc *hm*. C'est de cette quantité que l'angle entre l'image accidentelle et le grand cercle vertical *fhig* est moindre que dans le cas précédent, où la position primaire était en *c*.

Le même raisonnement s'applique aux images accidentelles négatives, situées sur l'horizon rétinien.

Détermination du centre de rotation de l'œil, d'après Donders (1). — On détermine d'abord, à l'aide de l'ophthalmomètre, le diamètre horizontal de la

(1) *Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde*, III, 3, p. 260-281.

cornée. A cet effet, on place immédiatement au-dessus de l'ophthalmomètre une petite flamme qui se réfléchit sur la cornée, et à côté de l'instrument on place un point de mire destiné à l'œil observé et qu'on peut déplacer horizontalement. L'œil est fortement éclairé, d'autre part, par une lampe très-brillante, située latéralement, et contre les rayons de laquelle on protége l'ophthalmomètre. On cherche à disposer l'instrument de manière que les deux images du reflet de la flamme se confondent avec les images de deux bords latéraux de la cornée. Pour que cet effet puisse se produire simultanément sur les deux images du reflet lumineux, il faut que le milieu de la cornée soit tourné directement vers l'ophthalmomètre, ce qu'on obtient en déplaçant le point de mire jusqu'à ce qu'on y soit parvenu. L'angle dont il a fallu tourner les lames de l'ophthalmomètre répond à la moitié de la largeur de la cornée, et l'on peut en déduire cette largeur par le calcul, d'après les règles indiquées page 12. L'angle compris entre l'axe de l'ophthalmomètre qui est dirigé vers l'œil, et la ligne de regard qui va de l'œil au point de mire répond à l'angle que forme la ligne de regard avec l'axe de la cornée.

Pour déterminer l'arc que doit décrire la cornée pour parcourir dans l'espace une longueur égale à son diamètre horizontal, on suspendait devant l'œil à observer un anneau dans lequel un fil mince était tendu verticalement. Puis on déterminait le nombre de degrés dont il fallait faire viser de part et d'autre (en partant de la position où l'axe de la cornée était dirigé vers la croix de l'ophthalmomètre) pour que, la tête restant immobile, les deux bords de la cornée vinssent successivement coïncider avec le cheveu. Le nombre de degrés trouvé indiquait l'angle que l'œil avait décrit autour de son centre de rotation. On trouva bientôt que, pour les yeux normaux, cet angle était d'environ 56°. Aussi Donders commençait-il plus tard chaque mensuration en plaçant deux nouvelles mires à 28° de part et d'autre de celle qui avait servi à amener le reflet lumineux sur le milieu de la cornée. On amenait la tête dans une position telle qu'en fixant l'une des mires latérales l'un des bords de la cornée vînt coïncider avec le cheveu, puis on cherchait si la fixation de la seconde mire latérale faisait coïncider le cheveu avec le bord opposé de la cornée. En général, cette coïncidence ne se produisait pas exactement, mais l'expérience apprenait s'il fallait décrire un arc plus grand ou plus petit. On rapprochait alors ou l'on éloignait également de la mire moyenne les deux mires latérales, jusqu'à ce qu'on obtînt enfin une coïncidence exacte des bords de la cornée avec le cheveu. Pour être certain de n'avoir pas été trompé par des mouvements de la tête, on faisait alors porter alternativement le regard à plusieurs reprises et avec vivacité vers les deux mires latérales.

Soit a la demi-largeur de la cornée, déterminée avec l'ophthalmomètre, β l'angle qui sépare de la mire moyenne chacune des mires vues par l'œil observé, la distance entre le centre de rotation et la plus grande corde horizontale de la cornée est a cotg β.

Dans plusieurs cas, et notamment chez des myopes, les mouvements de l'œil étaient trop restreints pour permettre à la cornée de parcourir l'espace nécessaire. Donders employait alors un anneau muni de deux fils métalliques tendus parallè-

lement et dont l'intervalle ($3^{mm},02$) avait été exactement déterminé. Les mires étaient placées de telle façon que les deux fils répondaient successivement, l'un au bord interne et l'autre au bord externe de la cornée. Pour déterminer l'espace parcouru, il suffisait alors de retrancher la distance des deux fils de la largeur qu'on avait trouvée pour la cornée ; cette valeur servait de base à la continuation du calcul.

Nous avons déjà donné plus haut (page 596) les résultats de ces recherches.

Vérification de la loi de rotation des yeux à l'aide des images accidentelles. — Pour les yeux normaux et pour les positions parallèles des lignes visuelles, le procédé le plus simple consiste à faire les expériences sur une tenture gris clair dont le dessin, peu accentué, présente surtout des lignes horizontales et des lignes verticales. On fixe, à la hauteur des yeux, un ruban rouge horizontal sur lequel on marque un point noir pour servir de centre à la fixation. Si l'on regarde la tenture après avoir fixé ce point pendant un peu de temps, on voit une image accidentelle vert clair du ruban, et l'on reconnaît facilement si cette image est ou n'est pas parallèle aux lignes horizontales de la tenture.

Pour fixer, par rapport à la tête, la position primaire de la ligne de regard, je me sers d'une planchette portant une mire et qu'on prend entre les dents. La figure 167 représente cet instrument en perspective. La planchette AB, longue de 13 centimètres et large de 4, offre en A une entaille correspondant à l'arcade dentaire et porte en B une colonne quadrangulaire de bois sur laquelle une bande de carton CC est fixée avec de la cire à modeler, ce qui permet de la déplacer facilement. On garnit les bords de l'entaille A d'une couche de gomme-laque chaude, et lorsque celle-ci commence à se durcir, on mord la planchette de manière à y laisser l'empreinte des dents. Lorsque la gomme-laque est durcie, la position de la planchette entre les dents est invariablement déterminée et on la retrouve toujours la même dans les différentes séries d'expériences.

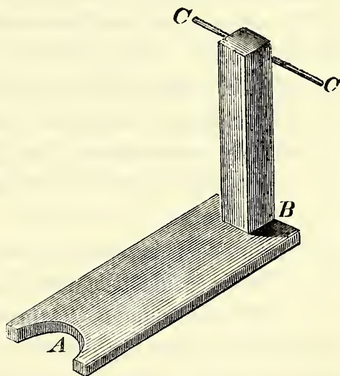


Fig. 167.

On donne à la bande CC une longueur égale à la distance des centres de rotation des yeux. On reconnaît facilement cette égalité en regardant à une distance infinie. La bande de papier présente alors une image double binoculaire ; on lui donne la position et la longueur nécessaires pour que les extrémités des images qui sont en regard se trouvent en contact immédiat. Alors les extrémités pointues de la bande présentent entre elles la même distance que les centres de rotation (ou plutôt les centres des lignes de visée) des deux yeux, et la ligne qui les joint se trouve dans le même plan que celle qui joint les deux centres de rotation.

Avant de commencer les expériences, qu'on peut faire avec un œil ou avec les

deux, il faut chercher empiriquement la position primaire des yeux. — A cet effet, on se place au fond de la chambre, en face du milieu du ruban rouge, et, partant de la position choisie, on fixe, pendant un certain temps, le milieu de la bande rouge, en rasant du regard l'extrémité correspondante de la bande *CC*; on déplace ensuite l'image accidentelle directement en haut ou en bas, à droite ou à gauche, et l'on remarque si elle reste parallèle ou non aux lignes horizontales de la tenture. Si elle n'est pas parallèle, il faut déplacer la bande de la planchette jusqu'à ce qu'on ait obtenu la position convenable. Il faut déplacer cette bande à gauche lorsque l'extrémité gauche de l'image accidentelle monte pour le regard en haut ou descend pour le regard en bas. Si c'est, au contraire, l'extrémité droite de l'image accidentelle qui s'élève ou s'abaisse avec le regard, il faut déplacer la bande vers la droite. Si l'extrémité gauche s'abaisse lorsqu'on regarde à gauche, et l'extrémité droite lorsqu'on regarde à droite, il faut monter la bande, et inversement.

Quand on a fini par trouver, pour chaque œil, la position de la mire qui donne aux yeux leur position primaire, cela constate d'abord qu'il existe une position de l'œil à partir de laquelle le regard se déplace horizontalement à l'aide d'une rotation autour d'un axe vertical et verticalement par une rotation autour d'un axe horizontal.

Mais tandis que les images consécutives conservent la position horizontale ou verticale des images primitives lorsqu'on dirige le regard directement en haut ou en bas, à droite ou à gauche, on voit que cela n'a pas lieu lorsqu'on dirige le regard obliquement en haut on en bas. On trouve, au contraire, que :

1° Si l'on dirige le regard *à droite et en haut* ou *à gauche et en bas*,
l'image consécutive d'une ligne *horizontale* paraît tourner à *gauche*,
celle d'une ligne *verticale* paraît tourner *à droite*, par rapport aux lignes du mur ;

2° Si l'on dirige le regard *à gauche et en haut* ou *à droite et en bas*,
l'image accidentelle d'une ligne *horizontale* paraît tourner *à droite*,
celle d'une ligne *verticale* paraît tourner *à gauche*.

Comme les lignes horizontales et les lignes verticales présentent des rotations de sens contraire, on peut déjà prévoir qu'il doit exister des lignes intermédiaires dont les images accidentelles sont parallèles à la direction primitive.

Le plus simple est maintenant de donner à la tête une inclinaison latérale, de sorte que, pour parcourir les lignes horizontales et verticales du mur, l'œil ait à exécuter des mouvements obliques par rapport à la tête. En continuant, dans cette position de la tête, à viser le long de la mire pour regarder le centre du ruban rouge, on s'assure qu'on prend encore pour point de départ la position primaire de l'œil. La direction de la ligne qui joint les centres de rotation est donnée par celle suivant laquelle se projettent, sur le mur, les pointes de la bande de carton qui sert de mire. Pour les yeux dont les mouvements obéissent à la loi de Listing, les positions inclinées de la tête n'empêchent pas les images accidentelles de bandes horizontales de rester parallèles aux lignes horizontales du mur, lorsqu'on déplace le point de regard le long de la ligne horizontale ou de la ligne verticale qui passent par le milieu de la bande rouge. Il en est de même des

images accidentelles d'une bande verticale, par rapport aux lignes verticales de la tenture.

Ces expériences, dans lesquelles on projette l'image accidentelle sur un mur relativement éloigné, présentent deux avantages : d'abord les petits déplacements de la tête, à droite, à gauche, en haut ou en bas, exercent une influence négligeable sur la position de la ligne visuelle déterminée à l'aide de la planchette de visée; en second lieu, les yeux conservent d'eux-mêmes une direction parallèle. Par contre, les murs de nos chambres ne sont, en général, pas assez grands pour permettre cette vérification, à une distance suffisante du mur, pour les directions périphériques de la ligne visuelle; de plus ce mode d'observation ne peut pas s'appliquer aux yeux myopes, parce que, sans lunettes, ils ne peuvent pas accommoder pour le mur, et que les verres de lunettes peuvent modifier l'inclinaison apparente des lignes, pour peu qu'ils cessent d'être centrés et perpendiculaires à la ligne visuelle. Pour les observations de près, j'ai modifié la méthode que j'avais employée autrefois, afin de pouvoir également rechercher avec plus d'exactitude l'influence de la convergence, et de pouvoir déterminer la grandeur et la forme du champ visuel.

Je prends pour champ visuel un grand tableau de bois, fixé au mur, et recouvert d'un papier gris clair bien tendu. Pour déterminer avec certitude la position de la tête, on place devant ce tableau, à une distance convenable pour l'accommodation de l'observateur, une petite table fixée au sol par des crampons de fer. Sur cette table est fixé un support de fer, à bras mobiles, pareil à ceux employés dans les laboratoires de chimie; ce support maintient une planchette analogue à celle de la figure 167, moins la colonne et la mire. Cette planchette, que l'observateur serre entre les dents, a pour unique objet de donner à sa tête une position fixe par rapport au tableau. Pour fixer la position de la tête, les dents sont bien préférables à tout autre moyen d'appui qui ne s'appliquerait immédiatement qu'à des parties non osseuses. Un second bras mobile du support est fixé à l'aide d'une vis, de manière à soutenir le front. On dispose ensuite sur le tableau, en regard de l'un ou de l'autre œil, une bande de papier très-fort ou de bois mince qui présente une coloration convenable et qui est fixée en son milieu par une punaise de dessinateur autour de laquelle elle peut tourner. La coloration que je donne à cette bande est mi-partie blanche et noire ou rouge et verte ; la ligne de séparation des couleurs divise longitudinalement la bande en deux parties égales. Cette ligne de séparation donne une image accidentelle nettement dessinée. De plus, par le milieu de la bande, on tend deux fils noirs fins, l'un vertical et l'autre horizontal, et l'on change la position de la planchette qui est entre les dents, jusqu'à ce que les images accidentelles de la bande placée horizontalement ou verticalement, restent parallèles au fil horizontal ou au fil vertical, lorsque, suivant le cas, on suit du regard le premier ou le second de ces fils. Il faut remarquer que les lignes visuelles doivent être maintenues parallèles ; pour être certain de conserver cette position, je marque sur le tableau deux points présentant la même distance que mes yeux (68^{mm}); l'un est tout près de la ligne vers laquelle je regarde, l'autre est à côté et à la même hauteur, de sorte que les images de ces points se fusionnent lorsque je les regarde avec les lignes visuelles parallèles.

On peut trouver ainsi la position primaire de chaque œil, — pour moi, elles sont éloignées l'une de l'autre d'une distance égale à celle des yeux, — on peut ensuite donner toutes sortes de directions obliques à la bande qui fournit les images accidentelles, et faire passer par sa ligne médiane des fils le long desquels on déplace ces images. Pour obtenir des lignes visuelles convergentes, on peut, après avoir développé l'image accidentelle dans l'un des yeux, regarder binoculairement un point du tableau, ou bien encore faire coïncider des points choisis arbitrairement, à l'aide de la convergence ou croisement des lignes de regard.

Si, pendant la convergence, les images accidentelles ne coïncident pas exactement avec le fil le long duquel on a déplacé le regard, on peut placer la bande obliquement par rapport au fil et chercher la position pour laquelle son image accidentelle devient parallèle à la partie périphérique correspondante du fil. On calcule facilement l'angle compris entre la bande et le fil, en mesurant la distance comprise entre le fil et chaque extrémité de la ligne médiane de la bande, ou bien, mieux encore, on peut disposer, à chaque extrémité de la bande, une graduation qui n'a besoin de renfermer qu'un petit nombre de degrés.

La comparaison entre la direction des images accidentelles et celle du fil comporte une erreur qui ne dépasse guère un demi-degré environ. Cette exactitude ne peut certes pas être comparée à celle qu'on obtient dans les observations astronomiques; mais je crois que ce serait illusoire de chercher, dans une question semblable, une approximation bien plus grande. Car, dans ces observations, on trouve déjà certaines petites variations qui ne dépendent pas seulement de la convergence, mais aussi du chemin suivi par l'œil pour atteindre la position correspondante; ces variations paraissent différer d'un jour à l'autre. Je les ai remarquées assez souvent, notamment pour des positions obliques de l'œil; elles étaient plus nettes et plus considérables chez le docteur Berthold, qui travaillait dans mon laboratoire, et je crois qu'elles doivent être plus grandes, en général, pour les yeux myopes, parce que l'habitude de regarder des objets rapprochés doit leur rendre familières, pour une même direction de la ligne visuelle, des modifications plus considérables de la torsion, relativement aux différents degrés de convergence.

E. Hering a fait, pour contrôler l'exactitude que comporte l'emploi des images accidentelles, des expériences d'où il conclut que les erreurs qu'on peut commettre en comparant la direction de ces images avec celle de lignes objectives, peuvent s'élever jusqu'à 5 degrés. Je puis déclarer que des erreurs de cette importance sont absolument impossibles lorsque les images accidentelles sont bien développées par suite d'une fixation exacte de l'objet; j'ai déjà dit plus haut que, dans les expériences bien faites, l'erreur ne dépasse pas un demi-degré : on reconnaît sûrement des déviations d'un degré, qu'il était facile de produire à volonté dans l'appareil que je viens de décrire. Je conclus plutôt des expériences de Hering, que son œil a exécuté en réalité des oscillations; ce qui peut provenir notamment de ce que l'objet fixé était seulement à 10 pouces, et que lorsqu'on regarde longtemps, avec un œil, un objet aussi rapproché, il se produit des variations très-prononcées de la convergence.

Parmi les méthodes employées jusqu'ici pour déterminer la position de chaque œil indépendamment de l'autre, celle des images accidentelles est la plus sûre lorsqu'on y est bien exercé. Ce qui me paraît très-important, c'est que, dans la forme sous laquelle je l'ai décrite, elle n'exige pas que l'œil conserve longtemps une position périphérique ; chaque expérience est, au contraire, rapidement terminée.

Dans la méthode de Wundt (1), on se sert aussi des images accidentelles pour déterminer les positions des yeux. Il projette les images accidentelles sur un disque mobile qui est toujours perpendiculaire à la ligne visuelle et qui est fixé à un bras de levier mobile. Son appareil présentait des graduations en degrés pour lire les angles nommés *longitude* et *latitude*, et la torsion du méridien vertical par rapport à la ligne verticale.

Vérification de la loi des rotations à l'aide du punctum cæcum. — Cette méthode permet également de déterminer la position de chaque œil indépendamment de l'autre. — A. Fick (2) est le premier qui l'ait appliquée. Sur le mur gris d'une grande chambre, et à la hauteur des yeux d'un observateur assis sur une chaise, était disposé un petit objet de fixation approprié ; c'était un cercle blanc avec un bord noir dentelé. L'œil était à une distance un peu supérieure à 6 mètres, et de telle façon que la ligne visuelle, en fixant l'objet, tombait perpendiculairement sur la muraille. On avait marqué sur le parquet les diverses positions que devaient avoir les pieds de la chaise pour que son bord antérieur vînt former des angles déterminés avec le mur. Dans toutes ces positions de la chaise, le milieu de l'intervalle compris entre ses deux pieds postérieurs restait immobile. Fick s'asseyait sur cette chaise, le dos appuyé, la tête droite ; il trouva que le plan médian de la tête se plaçait, avec une exactitude suffisante, perpendiculairement à l'autre bord de la chaise. Pour juger de l'inclinaison de la tête par rapport à l'horizon, on fixait, à l'aide de deux vis, dans les conduits auditifs, un étrier de bois passant au-dessus de la tête ; cet étrier portait, en outre, une branche de fer qu'on appliquait sur la racine du nez, de manière à mieux assurer sa position fixe par rapport à la tête. A la vis qui pénétrait dans l'oreille gauche était suspendu un fil à plomb qui parcourait un arc gradué, invariablement lié à l'étrier. C'est ainsi qu'on pouvait déterminer l'angle que faisait avec l'horizon la tête ou une ligne droite située dans le plan médian.

Sur le mur, on avait appliqué au point de fixation, une feuille de carton gris, mobile autour du clou qui la maintenait. L'observateur pouvait faire tourner ce carton à l'aide d'un cordon réfléchi sur une poulie. Le carton portait une tache noire à une distance convenable pour qu'elle vînt se peindre sur le *punctum cæcum* pour une position appropriée du disque. Un aide lisait l'inclinaison de la tête, et pour chaque inclinaison l'observateur, à l'aide du cordon, disposait le carton de façon à faire disparaître la tache noire. On pouvait lire la rotation du carton sur une échelle de tangentes. C'est ainsi qu'on mesurait la rotation de

(1) *Archiv für Ophthalmologie,* VIII, 2, p. 16, 17.
(2) *Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen,* V, 193-233.

l'œil par rapport à sa position initiale. La rotation de la chaise mesurait l'angle de longitude, et l'arc gradué, voisin de l'oreille, indiquait la latitude. En répétant les expériences, on trouva, pour les torsions, des différences qui atteignaient 3 degrés. M. Mandelstamm a tenté, dans mon laboratoire, d'amener la méthode de Fick à un degré plus grand d'exactitude, mais malgré tous les efforts et toutes les modifications essayées, il fut impossible d'éviter une incertitude de 2 degrés.

Meissner (1) fixait la position de la tête et faisait mouvoir la mire qui portait la tache obscure. La tête était fixée de telle sorte que l'œil se trouvait au centre d'un demi-cercle gradué, de 10 pouces de rayon, lequel pouvait décrire autour de son axe vertical un angle qu'on pouvait mesurer (longitude de Fick, latitude de Meissner). Un curseur mobile sur l'arc de cercle, où l'on pouvait lire ses déplacements (latitude de Fick, longitude de Meissner), présentait, sur sa face tournée vers l'observateur, le disque à la tache sombre, auquel on pouvait donner un mouvement de rotation dans son plan. Les résultats de Meissner sont indiqués dans le tableau suivant; on y voit l'angle lu directement, et qui répond à k' dans l'équation 4e).

		COTÉ NASAL.				COTÉ TEMPORAL.		
		+30	+20	+10	0	—10	—20	—30
Élevé	— 30	— 3	0	+ 2	0	+ 3	+ 6	+10
Élevé	— 15	+ 0,5	+ 1,5	+ 2,5	0	+ 1,5	+ 3	+ 5
	0	+ 7	+ 5	+ 4	0	0	0	0
Abaissé	+ 15	+12,5	+ 8,5	+ 5	0	— 1,5	— 2,5	— 5
Abaissé	+ 30	+19	+13	+ 7	0	— 3	— 6	— 9,5
Abaissé	+ 35	+20,5	+14	+ 7,5	0	— 3	— 7	—10
Abaissé	+ 40	+20,5	+14	+ 7	0	— 3	— 7,5	—11
Abaissé	+ 45	+21	+14,5	+ 7	0	— 3	— 8	—12
Abaissé	+ 50	+21,5	+14,5	+ 7	0	— 3	— 8,5	—13

La marche assez irrégulière des chiffres me porte à admettre que des changements de convergence, difficiles à éviter dans la fixation monoculaire d'un objet très-rapproché, ont exercé quelque influence. — Meissner lui-même regarde ses expériences comme s'accordant approximativement avec la loi de Listing ; mais il croit que, pour les directions allant vers le nez, il faut prendre une autre position primaire formant au-dessous de l'horizon un angle de 45°, tandis que pour les directions temporales la position primaire se trouverait dans le plan horizontal. Il fait subir, pour le calcul, des transformations aux chiffres qu'il a obtenus, pour faire mieux ressortir cette circonstance.

Je réunis dans le tableau suivant les moyennes qui résultent des expériences de Fick.

(1) *Zeitschrift für rationnelle Medicin*, 3, VIII.

LONGITUDE.	LATITUDE.										
	— 33	— 30	— 28	— 14	— 11	— 6	0	+ 1	+ 4	+ 18	+45
—29			—4°,7								
—26					+3°,5						
—21									+1,5		
—14		— 2°								+5°,7	
—13				+2°,5							
—10								+ 2°			
0	+2,5						0				+0°,1
+10								+0°,1			
+13				+1,7						—1°,8	
+14		—4°,7									
+21									—0°.3		
+26					+3°,4						
+29			+7,5								
+38						+2°,9				—3°,3	

Vérification de la loi des rotations à l'aide de l'astigmatisme. — Au moment de corriger l'épreuve de ce qu'on vient de lire, je reçois une communication de E. Javal, d'après laquelle une inclinaison de la tête est compensée, en partie, par une torsion de l'œil en sens inverse, de sorte que la position de l'œil n'est pas indépendante de celle de la tête, aussi rigoureusement que l'affirme la loi de Donders. — C'est par des observations faites sur des astigmates que Javal (1) a constaté, dans une certaine mesure, l'exactitude de l'assertion de Hueck. En effet, les personnes affectées d'astigmatisme un peu considérable s'aperçoivent facilement que, lorsqu'elles penchent la tête vers l'une ou l'autre épaule, leurs lunettes correctrices cessent de corriger parfaitement leur défaut. En prenant pour objet une circonférence de cercle dressée à l'extrémité d'une planchette que le sujet tient entre ses dents, l'astigmate constate que pour continuer à la voir nettement en penchant la tête à droite, il lui faut faire tourner son verre cylindrique à gauche. Son astigmatisme étant pareil sur les deux yeux, Javal a pu faire cette expérience binoculairement, ce qui prouve bien que le phénomène n'est pas dû à une oscillation de la convergence. Ayant répété le même essai à l'aide d'images accidentelles, je puis ajouter que pour mes yeux il se produit également une légère rotation dans le sens indiqué par Hueck. La méthode que je viens d'indiquer présente plus de sensibilité que celle de Fick pour ce motif qu'au lieu de mesurer deux mouvements effectués l'un par la tête et l'autre par le *punctum cæcum* dans le champ visuel, on mesure directement la torsion, qui est la différence de ces deux mouvements.

Il est à peine besoin d'ajouter que la restriction que nous venons d'apporter à la loi de Donders ne porte aucune atteinte aux déductions que nous en avons tirées, car, pour toute position donnée de la tête, à une position déterminée de la ligne visuelle correspond toujours une valeur déterminée de la torsion.

(1) WECKER, Études ophthalmologiques, Paris, 1866, II, 815 (chapitre Astigmatisme, par JAVAL).

Vérification des positions des yeux à l'aide des images correspondantes dans les deux yeux. — Les méthodes dont nous allons parler paraissent comporter une exactitude bien plus grande que celle des images accidentelles; mais elles servent seulement à comparer entre elles les positions des deux yeux et non à déterminer celle de chacun isolément. Elles sont donc très-utilisables pour rechercher les petites aberrations individuelles que les mouvements des yeux présentent par rapport à la loi de Listing. De plus, dans certains cas, et notamment pour la théorie de la vision binoculaire, c'est précisément la détermination des différences de position des deux yeux qui importe particulièrement.

La première application de ces méthodes a été faite par Meissner (1). — Il fit remarquer que, lorsqu'on tient devant soi un fil métallique tendu perpendiculairement au plan de regard, et qu'on le regarde de telle manière que les lignes visuelles convergent vers un point situé un peu en avant ou en arrière de ce fil, ses images doubles ne sont pas parallèles, mais présentent entre elles une certaine inclinaison; pour obtenir le parallélisme des images, il faut incliner le fil par rapport au plan de visée. De la position du fil, par rapport au plan de visée, on déduisait facilement la position des méridiens verticaux qui se correspondent dans les deux yeux, ce qui permet de calculer la torsion de l'œil, du moins pour les positions médianes du point de convergence. Les expériences que fit Meissner d'après cette méthode qu'il avait si ingénieusement inventée, confirmèrent, en général, la loi de Listing, bien qu'il faudrait peut-être faire subir quelques corrections aux résultats qu'il obtint, à cause de certaines sources d'erreur qui n'ont été révélées que par des expériences plus récentes. D'abord, il ne connaissait pas encore de différence entre le méridien vertical apparent et le méridien vertical réel de l'œil, et il admettait, ainsi qu'on le faisait généralement alors, que des lignes verticales, situées à une distance infinie, se représentaient sur des méridiens identiques dans les deux yeux. En second lieu, il ne connaissait pas encore l'influence, découverte par Volkmann, de la convergence sur les torsions de chaque œil. Enfin, l'estimation du parallélisme des deux images peut être troublée par cette circonstance que l'une des extrémités du fil métallique se rapproche tantôt plus et tantôt moins de l'œil, ce que l'observateur sait et perçoit: à la notion du parallélisme des images dans le champ visuel peut se substituer celle du parallélisme de deux lignes objectives situées dans un plan incliné par rapport à l'observateur.

Pour cette raison, il serait sans doute mieux d'apporter au procédé de Meissner la modification proposée par Volkmann (2). — Sur un mur vertical placé devant les yeux, Volkmann dispose deux disques rotatifs, de façon que leurs centres se trouvent sur les lignes visuelles des yeux, disposées pour voir à l'infini. Chaque disque présente une ligne mince passant par son centre et changeant, par conséquent, de position pendant la rotation du disque. Le pourtour du disque porte un cercle gradué pour déterminer les changements de direction. L'observateur regarde les deux lignes dessinées sur les disques avec la convergence minimum des yeux,

(1) Beiträge zur Physiologie des Sehorgans, 1851.
(2) Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik, Leipzig, 1864, 2, p. 199-240.

de sorte qu'il en voit deux images très-voisines qu'il cherche à rendre parallèles en faisant tourner l'un des disques.

En faisant de nombreuses expériences de ce genre, on peut obtenir des moyennes très-exactes. Volkmann n'a pas appliqué cette méthode aux différentes positions de la tête, afin de pouvoir tirer des conclusions relatives aux mouvements ; on peut cependant l'appliquer à ce but en regardant les disques avec différentes positions de la tête.

L'appareil de Volkmann comporte, à cet effet, la simplification que voici : Pour l'étude des positions parallèles de mes propres yeux, j'ai suspendu, en avant d'un tableau vertical de bois, deux fils tendus par de petits poids ; l'un des fils était blanc sur fond noir, et l'autre noir sur fond blanc. La distance des clous auxquels étaient attachés les fils était choisie de telle manière que les centres des fils sur lesquels je fixais le regard pendant l'observation présentassent une distance de 68^{mm}, égale à l'écartement de mes yeux. Les fils s'appuyaient, en bas, contre deux épingles plantées dans le bois, qui les faisaient converger un peu. Derrière le milieu des fils, partie qu'il fallait fixer, une ligne horizontale était tracée exactement à la hauteur de mes yeux. J'observais en maintenant les lignes visuelles en parallélisme, ce qui amenait les fils dans la même région du champ visuel commun, et je déplaçais l'une des épingles jusqu'à ce que, les fils ne se croisant plus, une faible convergence les fît apparaître sous formes d'images parfaitement parallèles. La différence de coloration des fils permet de mieux juger leur coïncidence, dans le champ visuel, que s'ils étaient de même couleur, ce qui favoriserait beaucoup leur fusion stéréoscopique, même lorsqu'ils sont loin de se superposer. Lorsqu'ils présentent des images doubles voisines, leurs milieux paraissent séparés et leurs extrémités se confondent. Il faut alors faire attention à ce que leur réunion se fasse de la même manière en haut et bas.

En faisant osciller la tête d'avant en arrière, j'ai pu répéter ces expériences avec les lignes visuelles parallèlement abaissées et élevées, et je trouvai effectivement que le parallélisme des fils ne reste pas aussi parfait que l'exigerait la loi de Listing ; ainsi, pour les lignes visuelles parallèles élevées jusqu'à la limite supérieure du champ visuel, l'angle des méridiens verticaux apparents était de 0°,3 plus grand que pour la position parallèle la plus basse des lignes visuelles : dans la première de ces positions, l'extrémité supérieure du méridien vertical de chaque œil s'inclinait de 0°,15 plus en dehors que dans la seconde. En répétant plus tard ces expériences, j'ai trouvé plus avantageux de donner comme objets, à l'un des yeux, une bande rouge rectangulaire de 3^{mm} de largeur, et à l'autre, un fil bleu, le tout sur fond noir. Le fil doit apparaître sur le milieu de la bande rouge.

Volkmann lui-même a fait ses expériences sur les positions de l'œil à l'aide d'une modification de cette méthode. — Au lieu de dessiner un diamètre entier sur ses disques rotatifs, il ne traçait qu'un rayon, et il cherchait, dans l'examen binoculaire, à faire paraître ces rayons sur une même ligne droite. La tête était maintenue convenablement ; les disques rotatifs étaient placés dans deux tubes noircis qu'on pouvait diriger à volonté, à l'aide d'articulations convenables, de sorte que chaque œil regardait un disque par chacun des tubes, ce disque restant toujours perpendiculaire à la ligne de regard.

Les expériences que fit Volkmann, en maintenant le parallélisme des lignes visuelles, lui apprirent que ses yeux s'écartaient très-peu de la coïncidence exigée pr la loi de Listing. Il ne se manifesta absolument aucun écart lorsque, partant de la position primaire qu'il avait déterminée à l'aide des images accidentelles, il regardait directement en haut, en bas, à droite ou à gauche. Il trouva, au contraire, de petites déviations lorsqu'il regardait obliquement en haut ou en bas. Les nombres suivants sont chacun la moyenne de 60 observations; dans 30 observations de chaque série, le rayon mobile répondait à l'œil droit et dans les 30 autres, il répondait à l'œil gauche; les nombres indiquent l'angle compris entre les rayons qui paraissent former une ligne droite verticale.

Position primaire.............	2°,21
A 30° en haut et à droite........	2°,74
— en haut et à gauche.......	2°,92
— en bas et à gauche........	1°,31
— en bas et à droite	1°,41

L'angle qui diffère le plus de celui de la position primaire s'en éloigne de 0°,9, ce qui, réparti également entre les deux yeux, donne, pour chaque œil, 0°,45, valeur qui devait assurément échapper dans les expériences avec les images accidentelles.

Volkmannn trouva, de plus, à l'aide de la même méthode, qu'en faisant converger les regards vers un point du plan horizontal éloigné de 30 centimètres, l'angle des méridiens verticaux apparents s'élevait de 2°,15 à 4°,16; ce qui faisait, pour chaque œil, une torsion d'environ un degré, qui ne se serait pas produite pour la même position de sa ligne visuelle, l'autre restant en parallélisme.

Pour mes yeux, la convergence est accompagnée d'un écart très-faible, mais du même sens que chez Volkmann. — J'ai fait l'observation à l'aide d'un fil noir fin, enfilé dans le trou d'une aiguille. Cette aiguille était plantée, à la hauteur de mes yeux, au milieu du panneau blanc d'une porte; les bouts du fil, chargés de petits poids, s'appuyaient sur deux épingles plantées sur une même horizontale. Le fil formait donc deux lignes droites se réunissant, sous un angle variable, dans le trou de l'aiguille. En faisant varier légèrement la hauteur des épingles, on obtient un angle dirigé à volonté vers en haut ou vers en bas, et dont les deux côtés restent toujours dans un plan parallèle à celui de la porte. Pour regarder avec des lignes visuelles parallèles, je tenais devant l'aiguille une bande verticale de papier fort, de 68^{mm} de largeur : quand les lignes de regard sont parallèles, les parties encore visibles du fil paraissent se réunir au milieu pour former un angle. Je modifiais la position des épingles jusqu'à ce que cet angle me parût égal à deux angles droits, c'est-à-dire que ses branches fussent en ligne droite. Puis je fixais le trou de l'aiguille, à 20^{c}. de distance, en tenant entre mon nez et l'aiguille une feuille de papier, de manière à cacher à chaque œil la partie du fil située en face de l'autre. Bien que la fixation eût lieu dans la position primaire du plan de visée, le fil paraissait brisé, et, pour le voir droit de nouveau, il fallait en abaisser un peu une moitié. D'après ces expériences, chacun de mes yeux exécuterait, pour la

convergence à 20 c, une rotation de 17 minutes (0°,28), tandis que pour Volkmann, le chiffre était 1°,37.

Chez Volkmann, cette torsion était assez considérable pour pouvoir être remarquée sur l'image accidentelle d'une ligne verticale colorée, projetée à côté de cette ligne, avec le regard convergent, après avoir développé l'image pendant le regard parallèle. Le professeur Welcker obtint le même résultat chez Volkmann. J. B. Schuurman (1) avait fait des expériences tout à fait analogues avec un résultat négatif, tandis qu'avec une convergence forcée, le professeur Donders a remarqué des rotations de 1° à 3°, dans le même sens que Volkmann et moi. Comme je l'ai dit plus haut, j'ai remarqué des déviations bien plus nettes, par suite de convergence, en examinant les images accidentelles pour des directions périphériques de la ligne de regard.

Détermination des points d'insertion et des axes de rotation pour les muscles de l'œil. — L'action de ces muscles se déduit facilement de leur position et de leur mode d'insertion. Comme leurs tendons parcourent tous une certaine étendue sur le globe oculaire dont ils épousent la convexité, comme des courroies qui s'appuient sur une poulie, tous ces muscles exercent sur l'œil des tractions tangentielles. Pour déterminer exactement la direction de cette traction, il faut mener une tangente au globe oculaire, au point de contact du tendon; pour le muscle oblique supérieur, cette tangente se dirige vers la trochlée; pour les autres muscles, elle se dirige vers l'insertion fixe.

Comme le globe oculaire, tel qu'il est soutenu, ne peut exécuter que des rotations autour de son centre, nous n'avons à considérer les actions de ses muscles qu'en tant qu'elles produisent de semblables rotations. Lorsqu'un corps qui, comme le globe oculaire, peut tourner librement autour d'un point, est sollicité excentriquement par une force, on trouve la direction du mouvement qui en résulte, en menant un plan par la direction de cette force et le centre de rotation, et élevant, au centre, une perpendiculaire à ce plan : cette perpendiculaire est l'axe de la rotation. Comme nous l'avons vu, la direction de la traction est déterminée par le point où le tendon s'applique contre le globe, ou insertion mobile, et par l'insertion fixe (ou la poulie de renvoi) du muscle. Ces deux points et le centre de rotation de l'œil déterminent donc toujours la position du plan perpendiculaire à l'axe de rotation. Si l'on détermine donc géométriquement la position de ces trois points, on peut en déduire la position de l'axe de rotation.

Ruete (2) et A. Fick ont fait de semblables déterminations. — Ruete enlevait d'abord, par un trait de scie passant près de l'orbite, toute la partie supérieure du crâne, puis il plaçait la tête dans la position qu'elle occupe lorsqu'on la tient droite, pendant la vie. Un second trait de scie, mené dans le plan médian, séparait en deux l'os frontal, l'apophyse crista-galli, la selle turcique, et s'avançait

(1) Vergelijkend Onderzoek der Beweging van het Oog, *Academisch Proefschrift*, Utrecht, 1863.

(2) Ruete, Ein neues Ophthalmotrop, Leipzig, 1857.

assez profondément dans le nez pour qu'on pût y fixer solidement un fil métallique droit, dépassant le crâne suivant une direction parallèle aux axes visuels dirigés directement et horizontalement en avant; ce fil servait ultérieurement à l'orientation. On insufflait ensuite les yeux jusqu'à leur rendre la tension normale, on les plaçait en parallélisme et l'on enfonçait avec précaution, dans chacun, en faisant tourner ce fil sur lui-même et en le dirigeant suivant l'axe optique, un fil d'acier très-mince et très-pointu qu'on faisait pénétrer jusque dans l'os de l'orbite, de manière à fixer les yeux dans leur position. Pour assurer encore davantage la position des yeux, on versa, dans quelques cas, une couche de plâtre sur les paupières fermées.

On ouvrait ensuite les cavités orbitaires, par en haut et avec précaution, et l'on disséquait soigneusement les origines et les insertions des muscles, sans enlever plus de graisse qu'il ne fallait pour mettre ces points à découvert. On mesurait les angles formés par les muscles avec l'axe optique en y appliquant des fils métalliques convenablement courbés. On mesurait avec le compas la distance qui séparait les origines et les insertions musculaires d'avec le point milieu de la ligne qui joignait les deux yeux, et cela en haut et en bas, à droite et à gauche, en arrière et en avant. Ces mensurations étaient répétées par trois observateurs.

Sous ce dernier rapport, il me paraîtrait préférable, à l'exemple de Fick, de mesurer les distances qui séparent de trois points fixes les origines et les insertions mobiles des muscles, le sommet de la cornée et l'entrée du nerf optique, et de s'en servir pour calculer les coordonnées et la position du centre de l'œil; en effet, la position de ce point n'est pas caractérisée anatomiquement et l'on obtient des résultats assez incertains en mesurant avec le compas la distance verticale ou horizontale de deux points qui ne sont pas exactement sur une même verticale ou sur une même horizontale. Le tableau suivant indique, en millimètres, les moyennes des résultats obtenus par Ruete sur quatre têtes; en partant du centre de l'œil, les x sont comptés horizontalement et en dehors, les y en arrière et les z verticalement.

	INSERTIONS.			ORIGINES.		
	x	y	z	x	y	z
Droit supérieur..........	+ 2,00	—5,667	+10	—10,67	+32	+ 4
— inférieur..........	+ 2,20	—5,767	—10	—10,8	+32	— 4
— externe...........	+10,80	—5,00	0	— 5,4	+32	0
— interne...........	— 9,90	—6,00	0	—14,67	+32	0
Tendon de l'oblique supérieur	+ 2,00	+3,00	+11	—14,1	—10	+12
Oblique inférieur........	+ 8,00	+6,00	0	— 8,1	— 6	—15

Diamètre de l'œil = 24^{mm}.

Les chiffres de A. Fick sont les suivants :

	INSERTIONS.			ORIGINES.		
	x	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*
Droit supérieur........	0	— 7,9	+9,1	—16	+31	+ 6,5
— inférieur........	0	— 7,9	—9,1	—17	+30	+ 2
— externe.........	+ 9,1	— 7,9	0	—15	+31	+ 2
— interne..........	— 9,1	— 7,9	0	—18	+30	+ 4
Oblique supérieur......	+ 4,6	+ 2,7	+9,9	—19,6	—10,9	+12,8
— inférieur.......	+10,4	+ 6,0	0	—18	+30 (?)	+ 6
Entrée du nerf optique..	— 3,4	+11,5	0			
Sommet de la cornée....	0	— 12	0			

Comme Ruete l'a déjà remarqué, les valeurs de *y* et de *z*, pour l'origine de l'oblique inférieur, doivent être fautives, car elles sont nécessairement négatives toutes deux.

Ruete a déduit de ses mensurations de coordonnées la position des axes de rotation, et il donne les valeurs suivantes pour les angles *a*, *b*, *c* qui (négatifs d'après notre désignation) sont formés par le demi-axe de rotation avec les directions positives des *x*, *y* et *z* :

	a	*b*	*c*
Droit interne........	90°	90°	180°
— externe.......	90°	90°	0°
— supérieur......	161 1/2	109 1/2	90°
— inférieur.......	19°	71°	90°
Oblique supérieur....	51°	141°	84 1/2
— inférieur.....	127°	37°	90°

Ophthalmotropes. — Nous avons vu plus haut comment se composent les rotations autour de différents couples d'axes ; comme il est difficile de bien se figurer les choses, Ruete (1) a construit le premier, sous le nom d'*ophthalmotrope*, un modèle rotatif des deux yeux sur lequel les muscles sont représentés par des fils tendus par des ressorts; les déplacements des fils se lisent sur des échelles graduées. Le modèle d'ophthalmotrope proposé par Hasner et vulgarisé par Knapp (fig. 168), suffit, malgré sa simplicité plus grande, pour donner une idée des actions des muscles. Une articulation à genou permet à chacun des deux yeux artificiels de tourner autour de son centre; l'équateur, la cornée, les méridiens vertical et horizontal y sont tracés, et aux points d'insertion des muscles s'attachent de forts fils de soie de différentes couleurs. Pour donner aux fils la direction des muscles, on en fait passer quatre, qui répondent aux quatre muscles droits, par quatre trous pratiqués, l'un à côté de l'autre, dans la planchette *A*; leurs extré-

(1) Ein neues Ophthalmotrop, Leipzig, 1857. — Das Ophthalmotrop, dessen Bau und Gebrauch, Göttingen, 1845. Extrait du premier volume de *Göttinger Studien.*

mités postérieures portent des poids. Quant aux fils qui répondent aux deux muscles obliques de chaque œil, ils passent sur les petites poulies que porte à ses deux extrémités la traverse verticale de cuivre *B*, pour aller s'enfiler dans des trous pratiqués au milieu de la planchette *A* ; ils sont également tendus par de petits poids. Les muscles homonymes des deux yeux sont représentés par des fils de même couleur. Dès qu'on fait exécuter une rotation à l'un des yeux, ce

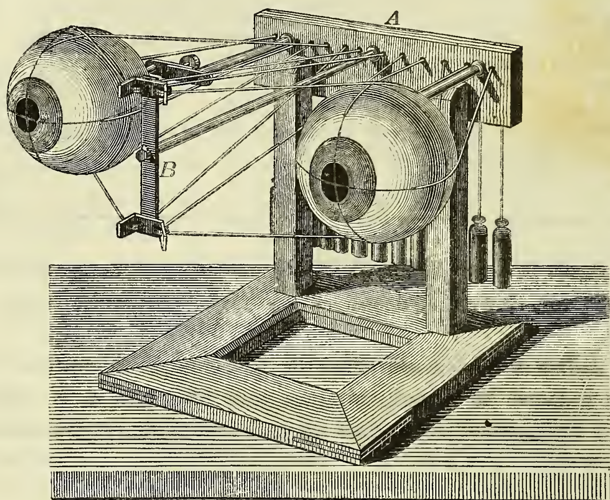


Fig. 168.

mouvement a pour effet de tirer les fils qui représentent les muscles dont ce mouvement nécessiterait un allongement sur le vivant. Inversement, on voit baisser les poids qui tendent les fils correspondant aux muscles dont ce mouvement exigerait le concours. Si l'on regarde donc quels sont les poids qui descendent et quelle est l'étendue de leur mouvement, on peut voir immédiatement quels sont les muscles qui devraient agir et se faire une idée de l'effort que demanderait à chacun d'eux l'exécution du mouvement en question. L'appareil est très-commode pour l'enseignement et notamment pour donner rapidement un aperçu des circonstances, souvent fort compliquées, que présentent les altérations pathologiques.

Wundt (1) a construit un autre ophthalmotrope dont les fils sont tendus par des ressorts à boudin dont la force et la longueur ont été prises aussi proportionnelles que possible à celles des muscles de l'œil et où le globe oculaire prend de lui-même la position exigée par les expériences de Wundt sur les positions de l'œil, dès qu'on amène dans une position quelconque l'axe qui représente la ligne visuelle. Wundt a principalement appliqué ce modèle à la démonstration de son principe de l'effort minimum, dont il a fait dériver la loi des mouvements de l'œil.

(1) *Archiv für Ophthalmologie*, VIII, 2, p. 88.

Les premières recherches qu'on ait faites sur les mouvements des yeux étaient relatives à la position du centre de rotation. Joh. Müller (1) croyait encore que le centre de rotation de l'œil devait se trouver au centre de sa surface postérieure, opinion qui a été également soutenue par Tourtual (2) et par Szokalski (3). Volkmann (4) chercha à déterminer, à l'aide de son mesureur de l'angle visuel, le point de croisement des lignes de direction et le centre de rotation, de la manière expliquée p. 117 ; il croyait que ces deux points coïncidaient ; le point qu'il détermina était, en réalité, le centre de rotation qui, d'après lui, se trouverait à $5''',6$ en arrière de la cornée. Il a déjà été fait mention plus haut de la polémique qui s'engagea à cette occasion, et à laquelle prirent part Mile, Knochenhauer, Stamm et Burow. Ce dernier détermina plus exactement le centre de rotation (5). Pour la distance de ce point à la cornée, il trouva, comme moyenne des 40 observations, $5''',42$; aucun des nombres qu'il obtint ne s'écarta de celui-là de plus de $0''',8$. Valentin (6) répéta ces observations, aussi bien pour les mouvements horizontaux que pour les mouvements verticaux ; il trouva, en moyenne, pour les premiers, $5''',501$ et, pour les seconds, $5''',08$. Les recherches déjà citées de Junge (publiées en russe), de Donders et de D. Doijer (7) sont de beaucoup plus récentes.

C'est également Joh. Müller (8) qui ouvre la liste des recherches sur les torsions. Il dit qu'au moyen de différents points marqués avec de l'encre sur la sclérotique il a pu reconnaître que l'œil, dans ses mouvements, ne tourne pas autour de son axe longitudinal. Cette opinion prévalut parmi les physiologistes jusqu'à ce qu'un travail de Hueck (9) donnât l'impulsion à un grand nombre de recherches. Hueck chercha à défendre l'opinion, déjà émise par Hunter, d'après laquelle l'inclinaison de la tête vers l'épaule serait accompagnée d'une rotation de l'œil, en sens opposé, autour de l'axe visuel. Il attribue cette rotation aux muscles obliques de l'œil. Il croyait s'être assuré de l'exactitude de cette opinion ; on a dit depuis qu'en réalité il n'avait observé, sur lui-même ainsi que sur d'autres, que les déplacements des vaisseaux conjonctivaux pendant les mouvements de la tête.

La plupart des physiologistes considérèrent comme exactes les opinions émises par Hueck. Bien que Tourtual (10) ait fait remarquer avec raison que la torsion n'est pas du tout nécessaire aux fonctions de la vue et bien que Ritterich et Ruete aient contredit le fait, l'opinion de Hueck fut cependant défendue par Tourtual, Burow (11), Valentin (12), Krause (13) et Volkmann (14). Tourtual lui-même constata déjà, en recherchant la position de la tache aveugle, que la rotation apparente de l'œil dans la tête était au moins insuffisante pour maintenir tout à fait invariable l'orientation des méridiens de l'œil. Ruete (15) crut démontrer, à l'aide des images accidentelles, qu'en réalité, quand on incline la tête (sans changer la position relative de la ligne visuelle) l'œil n'exécute aucun mouvement de torsion. Donders (16) mit à profit cette idée de Ruete pour tirer la question au clair. Il fit voir d'abord ce qui avait induit Hueck en erreur dans ses expériences ; c'est qu'il ne s'était pas suffisamment appliqué à maintenir invariable la position de l'œil dans la tête ; suivant Donders, les rotations observées par Hueck provenaient uniquement des déplacements de la ligne visuelle. Il trouva, de plus, que pendant les mouvements purement horizontaux ou purement verticaux des yeux, les images accidentelles des objets verticaux restent parallèles, mais qu'elles se placent obliquement pour les mouvements obliques. Il n'a pas établi de loi déterminée pour la valeur de cette obliquité. Tout récemment, Javal a repris cette question et démontré qu'il se produit en réalité une légère torsion dans le sens indiqué par Hueck.

---

(1) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns, Leipzig, 1826, p. 254.
(2) *Müller's Archiv*, 1840, p. XXIX.
(3) *Comptes rendus*, 1843.
(4) Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns, 1836, p. 33.
(5) Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges, 1842.
(6) Lehrbuch der Physiologie des Menschen, II, 1844.
(7) *Archiv für die Holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde*, 1863, III, 560.
(8) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns, 1826, p. 254.
(9) Die Achsendrehung des Auges, 1838.
(10) *Müller's Archiv*, 1840, pp. LV, LIX ; 1846, p. 346.
(11) Beiträge zur Physiologie des Auges, p. 8.
(12) *Repertorium*, 1842, p. 407. — Lehrbuch der Physiologie, II, 332.
(13) Handbuch der Anatomie, 1843, p. 550.
(14) Artikel Sehen, in *Wagner's Handwörterbuch*, p. 273.
(15) Lehrbuch der Ophthalmologie, p. 14. — Das Ophthalmotrop, 1846, p. 9.
(16) *Nederlandsch Lancet*, 1846, August. — *Holländische Beiträge zu den anat. und physiol. Wissenschaften*, 1848, I, 105-145 ; 384-386.

Cependant LISTING (1) avait établi une loi précise, et cette loi paraît s'appliquer en effet très-exactement pour la plupart des yeux normaux, mais il n'en a donné aucune démonstration et il ne l'a même pas publiée. MEISSNER (2) soumit d'abord cette loi à une vérification expérimentale, à l'aide de la méthode des images doubles, et il la trouva suffisamment satisfaite par ses expériences. Il chercha à montrer la loi de LISTING comme provenant de l'utilité d'avoir l'horoptre le plus grand possible, sujet sur lequel nous reviendrons.

FICK (3) et WUNDT (4) cherchèrent une autre explication de la loi des torsions ; ces auteurs sans tenir aucun compte de la loi de LISTING, déterminèrent la position de leur œil, le premier à l'aide de la tache aveugle, le second à l'aide des images accidentelles. Ils prétendirent que le globe oculaire affecte la torsion qui permet de donner à la ligne visuelle la position désirée, en faisant l'effort musculaire minimum. Cette proposition est probablement exacte, bien que nous ne connaissions pas encore suffisamment les conditions dont dépend l'effort musculaire, pour appuyer le calcul sur des bases certaines. WUNDT a également construit une espèce d'ophthalmotrope, modèle d'un œil mobile autour d'un point, et où les muscles étaient remplacés par des ressorts de laiton de longueur et de force appropriées ; sur ce modèle, les rotations du globe oculaire, pour les différentes positions de la ligne visuelle, répondaient asse aux observations de WUNDT sur ses propres yeux.

Mais si l'on considère que la force des muscles s'accommode pendant la vie à l'effet qu'ils doivent produire, ce principe, dût-il être parfaitement vérifié par l'expérience, ne me paraît cependant pas donner la cause première de la loi. En vérifiant la loi de LISTING, à l'aide des images accidentelles, je la trouvai très-exactement vérifiée pour mes propres yeux et pour ceux de quelques autres observateurs à vision normale ; la vérification par les images doubles réussit également pour mes yeux. Je cherchai à modifier la méthode, principalement en assurant mieux la position de la tête et en évitant la fatigue des muscles par suite de mensurations d'angles dans les positions latérales de l'œil, et je cherchai la base de la loi dans le principe de la plus facile orientation (5), développé plus haut. J'ai cherché, dans ce qui précède, à répondre aux objections que E. HERING (6) a élevées contre la méthode d'observation et l'explication de la loi. Les résultats de VOLKMANN, que j'ai indiqués plus haut, proviennent en grande partie de communications inédites qu'il m'a fait parvenir.

1826. JOH. MÜLLER, zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinns, Leipzig, p. 254.
1836. VOLKMANN, neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtsinns, p. 33.
1838. HUECK, die Achsendrehung des Auges, Dorpat.
1840. TOURTUAL, in *Müller's Archiv für Anatomie und Physiologie*, 1840, im Jahresbericht, pp. XXIX ; LV ; LIX.
1842. BUROW, Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges, Berlin.
— VALENTIN, *Repertorium*, 1842, p. 407.
— C. F. KRAUSE, Handbuch der menschlichen Anatomie, p. 550.
1843. SZOKALSKY, in *Comptes rendus*, 1843.
1844. VALENTIN, Lehrbuch der Physiologie des Menschen, II, 332.
1846. TOURTUAL, in *Müller's Archiv für Anat. und Physiol.*, 1846, p. 346.
— RUETE, Lehrbuch der Opthalmologie, p. 14. — Das Ophthalmotrop, Göttingen. p. 9.
— F. C. DONDERS, in *Nederlandsch Lancet*, 1846, August.
— VOLKMANN, Artikel « Sehen », in *Wagner's Handwörterbuch der Physiologie*, III, 337-358, 281-290.
1847. F. C. DONDERS, Beitrag zur Lehre von den Bewegungen des menschlichen Auges, in *Holländische Beiträge zu den anat. und physiol. Wissenschaften*, I, 104-145, 384-386.

---

(1) RUETE, Lehrbuch der Ophthalmologie. — Ein neues Ophthalmotrop, 1857.

(2) Beiträge zur Physiologie des Sehorgans, 1851. — *Archiv für Ophthalmologie*, II, 1855.

(3) *Moleschott's Untersuchungen*, 1858, X, 193. — *Zeitschrift für rationnelle Medicin*, 1854, IV, p. 801.

(4) *Graefe's Archiv für Ophthalmologie*, 1862, VIII, 1-114.

(5) *Archiv für Ophthalmologie*, IX, 153-214.

(6) Beiträge zur Physiologie, Leipzig, 1864, p. 248-286.

1854. G. Meissner, Beiträge zur Physiologie des Sehorgans, Leipzig.
— Czermak, Ueber Abhängigkeit der Accommodation und Convergenz, in *Wiener Ber.*, XII, 337-358 ; XV, 438-454.
— A. Fick, Die Bewegungen des menschlichen Augapfels, in *Zeitschrift für rationelle Medicin*, IV, 801.
1855. G. Meissner, Die Bewegungen des Auges, in *Archiv für Ophthalmologie*, II, 1-123.
1857. Ruete, Ein neues Ophthalmotrop, Leipzig.
1858. A. Fick, Neue Versuche über die Augenstellungen, in *Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen*, V, 193.
1859. G. Meissner, Ueber die Bewegungen des Auges, nach neuen Versuchen, in *Zeitschrift für rationelle Medicin*, VIII, 1.
— J. v. Recklinghausen, Netzhautfunctionen, in *Archiv für Ophthalmologie*, V, 2, p. 127.
— W. Wundt, Ueber die Bewegungen des Auges, in *Verhandl. des naturhist.-medicin. Vereins zu Heidelberg.*
1862. W. Wundt, Ueber die Bewegungen der Augen, in *Archiv für Ophthalmologie*, VIII, 2, p. 1-87.
— W. Wundt, Beschreibung eines künstlichen Augenmuskelsystems zur Untersuchung der Bewegungsgesetze des menschlichen Auges, in *Archiv für Ophthalmologie*, VIII, 2, p. 88-114.
— F. C. Donders und D. Dojer, Die Lage des Drehpunktes des Auges, in *Archiv für die Holländischen Beiträge*, III, 560.
1863. H. Helhmoltz, Ueber die normalen Bewegungen des menschlichen Auges, in *Archiv für Ophthalmologie*, IX, 2, p. 153-214.
— E. Hering, Beiträge zur Physiologie, 3tes und 4tes Heft, Leipzig (Critiques contre Meissner et Helmholtz).
— J. B. Schuurman, Vergelijkend Onderzoek der Beweging van het Oog bij Emmetropie en Ametropie, *Dissert.*, Utrecht.
1864. Giraud-Teulon, in *Comptes rendus*, LVIII, p. 361 (sur le centre de rotation).—Nouvelle étude de la marche des rayons lumineux dans l'œil, in *Ann. d'ocul.*, §§ 7-12, LI, p. 171-186.
1866. E. Javal, in Wecker, Études ophthalmologiques, II, 815.

Meissner, Jahresberichte über die Fortschritte der Physiologie, in *Zeitschrift für rationelle Medicin*, depuis 1856.

§ 28. — Du champ visuel monoculaire.

Dans l'usage ordinaire de nos yeux, nous les employons tous deux ensemble en les faisant mouvoir dans leurs orbites ou même en déplaçant par moments notre tête et tout notre corps dans l'espace. Les yeux se meuvent alors de manière à *fixer* successivement différents points des objets placés devant nous, c'est-à-dire de manière à recevoir simultanément, sur les centres des deux rétines, l'image du point que nous fixons. En appliquant les yeux de cette manière, nous sommes à même de percevoir avec exactitude la position des objets dont la lumière parvient librement et en ligne droite à notre œil.

On comprend en effet, d'après les lois de la réfraction dans l'œil, développées au § 10, que l'on peut déterminer d'une manière précise la position d'un point lumineux dans l'espace, lorsqu'on connaît la position du corps et de la tête, celle des deux yeux dans la tête, et, par suite, celle de leurs points nodaux, et qu'on connaît enfin les points

des deux rétines qui reçoivent les images du même point lumineux. Qu'on mène, en effet, une ligne droite depuis l'image rétinienne de chaque œil jusqu'à son point nodal, les prolongements de ces deux lignes de direction ne peuvent se couper qu'en un seul point, et c'est en ce seul point que peut se trouver l'objet lumineux.

L'exactitude avec laquelle on peut déterminer dans l'espace la position de l'objet perçu dépend, du reste, de l'exactitude que comportent ces diverses déterminations.

Soient donc données :

1) Des sensations suffisantes pour connaître exactement la position de la tête et du corps par rapport à une base choisie arbitrairement pour les mensurations, tel que le sol sur lequel nous nous reposons ;

2) Des sensations qui nous font juger exactement de la position de nos yeux dans la tête ;

3) Des éléments de la sensation (*signes locaux*) qui permettent de distinguer l'excitation des parties des deux rétines qui reçoivent la lumière du point objectif A, d'avec celle de toutes les autres parties rétiniennes (nous ne savons absolument rien de la nature de ces éléments de la sensation : si nous en admettons l'existence, c'est précisément parce que nous savons distinguer les sensations qui affectent les différentes parties de la rétine) ;

nous en avons assez pour pouvoir définir sans indétermination la position du point A dans l'espace. Si ce point se trouvait dans n'importe quelle autre partie de l'espace, il provoquerait nécessairement un système de sensations différent. L'expérience nous apprend qu'en général nous pouvons en effet déterminer, à l'aide de la vue, la position des objets que nous voyons. L'exactitude de cette détermination est assurément variable et dépend en particulier de la distance où les images du point A se trouvent du centre de la *fovea* de chaque œil.

Nous aurons donc à examiner dans quelle mesure chacun de ces éléments de la sensation contribue à la perception exacte de la position de l'objet. Nous n'irons pas jusqu'à chercher quelles sont les sensations dont dépend le jugement que nous portons sur la position de notre corps par rapport au sol et sur celle de la tête par rapport au corps ; cette recherche appartient à la physiologie générale des perceptions sensuelles et non à celle de la vision. Nous admettrons donc, dans chaque cas, la position de la tête comme exactement connue par rapport à la base choisie pour les mesures d'étendue. Il reste encore à examiner quelle part ont, dans la connaissance de la position des objets :

1° Les mouvements de la tête ;

2° Les mouvements des yeux dans la tête ;

3° La vision monoculaire ;

4° La vision binoculaire.

Nous commencerons cette recherche en établissant ce qu'on peut reconnaître avec un seul œil, en excluant tout mouvement de la tête. En revanche, nous n'exclurons pas, en général, dans ce paragraphe, les mouvements exécutés par l'œil par rapport à la tête.

Il est évident, tout d'abord, que lorsqu'on connaît la position d'un œil dans l'espace et la position de l'image rétinienne d'un point lumineux pour lequel cet œil est accommodé, on peut mener une ligne droite par l'image rétinienne et le point nodal, et l'on sait que le point lumineux se trouve en avant de l'œil, sur le prolongement de cette ligne. Mais la position du point sur cette ligne reste nécessairement encore indéterminée tant qu'aucun autre élément n'entre en ligne de compte. On pourrait bien penser à l'accommodation de l'œil. Si l'œil était parfaitement bien accommodé pour le point, l'effort d'accommodation ou la grandeur des cercles de diffusion pourraient peut-être nous renseigner sur la distance. Nous rechercherons au § 30 quelles sont les ressources pour juger de la distance dans la vision monoculaire, et nous verrons alors que l'accommodation ne donne qu'un secours bien imparfait. Si nous faisons donc abstraction des petites différences que le changement d'accommodation peut amener dans la netteté de l'image, il ne reste aucune circonstance de la sensation qui puisse donner une indication sur la distance d'un point lumineux.

Nous avons supposé plus haut que l'œil est exactement accommodé pour le point lumineux. Pour trouver la position du point, nous pouvons alors, comme il a déjà été dit, tirer la ligne de direction qui part de l'image rétinienne et passe par le point nodal ; nous pouvons encore suivre tout autre rayon qui va d'un point quelconque de la pupille à l'image rétinienne. Si nous construisons exactement la réfraction d'un semblable rayon, d'après les règles établies au § 10, afin d'en déterminer la position en avant de l'œil, chacun de ces rayons doit nous ramener finalement au point lumineux dont il émane. Il est donc indifférent, dans ce cas, de prendre tel ou tel des rayons qui rencontrent la pupille pour déterminer la direction sur laquelle se trouve le point lumineux.

Nous n'avons plus ce choix quand nous avons sur la rétine des images de points lumineux pour lesquels l'œil n'est pas exactement accommodé. Nous pouvons considérer alors le centre du cercle de diffu-

sion comme définissant la position de l'image rétinienne (1). Ainsi que nous l'avons déjà remarqué (p. 123), le rayon qui va du point lumineux vers le centre du cercle de diffusion passe par le centre de la pupille; il a reçu le nom de *ligne de visée*. Si le point lumineux se déplaçait le long de la ligne de visée, rien ne serait changé dans la sensation, si ce n'est que l'image de diffusion subirait de petites variations de grandeur qui peuvent même être insensibles pour des changements de distance très-notables.

On peut démontrer, de plus, que lorsque l'œil vient à s'accommoder pour près, le centre des cercles de diffusion ne se déplace pas sensiblement sur la rétine : le calcul se trouve à la fin de ce paragraphe.

Pour bien se rendre compte de ce qu'on peut reconnaître du monde extérieur sans le secours des mouvements de la tête et sans avoir égard aux différences d'accommodation, le mieux est d'avoir recours à des objets très-éloignés. En effet, pour des objets très-éloignés, les mouvements modérés de la tête ne produisent dans l'image aucun autre changement que ceux qu'on peut provoquer par de simples rotations de l'œil. Il est même indifférent, lorsqu'on regarde à une distance infinie, d'ouvrir les deux yeux ou un seul, car l'usage du second œil ne nous donne un nouvel élément de sensation utilisable que lorsque sa ligne de visée coupe celle du premier à une distance finie. Lorsque les deux lignes sont sensiblement parallèles et se prolongent indéfiniment sans se couper, nous ne pouvons en tirer aucune conclusion pour la distance réelle de l'objet lumineux, si ce n'est cette conclusion négative que l'objet doit se trouver au delà d'une certaine distance.

Lorsque nous regardons des objets terrestres très-éloignés, la connaissance préalable que nous pouvons avoir de leur forme, de leur distance, de leur couleur, etc., peut nous donner mainte indication pour l'interprétation de notre champ visuel. Si nous voulons nous affranchir de tout secours ainsi fourni par la mémoire, nous trouvons, dans le ciel étoilé, un exemple qui convient d'une manière toute spéciale à cette observation. Nous y rencontrons des objets sur la forme, la grandeur et la distance desquels nous n'avons absolument aucune notion préalable et pour la perception desquels ni la vision binoculaire, ni les mouvements que nous pouvons exécuter, ne nous fournissent aucun élément de plus que la vision au moyen d'un seul œil qui ne subirait aucun déplacement dans l'espace.

Dans ces conditions, nous ne voyons que sous deux dimensions les

---

(1) Il ne s'agit ici que de points lumineux; on a déjà vu au § 21, à propos de l'irradiation, qu'il en est autrement pour les bords des surfaces lumineuses.

objets qui en occupent réellement trois dans l'espace. Nous ne pouvons plus que reconnaître la direction de la ligne de visée qui conduit à chacun des points que nous voyons. Pour définir une semblable direction, il n'est plus besoin de trois éléments, comme pour un point : il suffit de deux, et, en effet, on détermine la position des étoiles par deux angles : longitude et latitude par rapport au pôle et à l'équateur, ou bien ascension droite et déclinaison par rapport à l'écliptique.

Une étendue à deux dimensions est une surface ; les points d'une surface se déterminent par deux éléments. Si donc, dans la vision avec un œil dont le centre de rotation ne se déplace pas, nous ne pouvons pas distinguer la distance, c'est-à-dire l'une des trois dimensions, nous ne reconnaissons plus les objets d'après leur distribution dans l'espace, mais seulement d'après leur disposition sur une surface. Nous donnons le nom de *champ de vision* à cette disposition superficielle apparente des objets. C'est ainsi que les étoiles nous apparaissent comme distribuées sur la surface imaginaire de la voûte céleste.

Que le lecteur veuille bien remarquer que je ne dis pas que les objets nous apparaissent *suivant* ou *sur une surface*, mais bien *comme sur une surface*, dans une disposition définie suivant deux dimensions seulement. En effet, nous ne nous représentons pas nécessairement une surface déterminée, à laquelle seraient attachées les étoiles ou les montagnes lointaines de l'horizon : la voûte d'airain du ciel et les sphères de cristal des anciens étaient l'expression naturelle d'une manière enfantine de se figurer les choses et du besoin de rendre toutes les idées aussi palpables que possible. On a introduit bien des difficultés dans l'optique physiologique en croyant devoir admettre, comme champ de vision de chaque œil, une surface déterminée, le plus souvent sphérique.

On peut représenter, sur une surface, toute fonction de deux variables. C'est ainsi qu'au § 20, nous avons représenté, d'après certaines règles, sur le disque chromatique, les couleurs de même intensité. Les deux variables d'après lesquelles on distinguait les couleurs étaient le ton et le degré de saturation. Si nous parcourons une série continue de tons de manière à revenir à celui qui a servi de point de départ (c'est-à-dire si nous traçons une courbe fermée sur le disque des couleurs), l'ensemble des couleurs se divise en deux groupes parfaitement séparés (situés de part et d'autre de cette ligne), et nous ne pouvons passer sans discontinuité d'une couleur de l'un des groupes à une couleur de l'autre, qu'en passant nécessairement par une de celles rencontrées d'abord (celles qui se trouvent sur la courbe fermée). C'est là le caractère principal d'une surface simple et continue; toute courbe fermée que nous y traçons la partage en deux parties, et l'on

ne peut passer d'un point de l'une des parties à un point de l'autre, sans traverser la courbe fermée. C'est précisément cette analogie qui permet de nous représenter le système des couleurs en les répartissant sur une surface, et il ne faut pas attacher tout d'abord une signification plus étendue à ce que nous faisons lorsque nous projetons les objets sur la surface imaginaire du champ visuel, dont la position dans l'espace reste tout à fait indéterminée d'ailleurs.

On comprend, du reste, facilement que cette notion de la distribution des objets suivant une surface dans le champ visuel subsiste alors même que la vue nous donne, en même temps, des notions parfaitement exactes de la disposition véritable des objets dans l'espace. Car ce fait subsiste inévitablement, qu'après avoir parcouru du regard une courbe fermée dans le champ visuel, il m'est impossible de passer d'un point intérieur à un point extérieur sans rencontrer cette courbe. Lorsque j'ai parcouru du regard le contour d'une fenêtre, je ne puis pas passer d'un point situé en dehors de la chambre à un point du mur sans que le regard rencontre le bord de la fenêtre ; ce signe essentiel de la disposition superficielle des objets que nous voyons subsiste, bien que nous sachions parfaitement d'ailleurs que, dans l'espace véritable, on peut mener une infinité de lignes du point extérieur au point du mur de la chambre, sans que ces lignes rencontrent le contour de la fenêtre.

C'est précisément parce qu'en parcourant les objets du regard nous les trouvons disposés en surface, qu'il est possible d'en rappeler l'aspect à l'œil par des peintures et des dessins exécutés sur des surfaces. Le dessinateur qui veut représenter un paysage ne cherche pas à connaître la distance qui sépare en réalité tel point du paysage d'avec son œil ou d'avec tel autre point ; il cherche seulement à savoir quel est le trajet que doit suivre son œil pour aller d'un point à l'autre, s'il faut diriger le regard en haut ou en bas, à droite ou à gauche et de combien il faut le déplacer. Nous reconnaissons cette image superficielle comme semblable à l'objet lorsque, pour passer d'un point de l'image à l'autre, il faut faire exécuter à l'œil les mêmes mouvements que pour voir, l'un après l'autre, les points correspondants de l'objet.

On comprend, de plus, que nous apprenons ainsi à connaître simplement le *mode de distribution* des points dans la surface apparente du champ visuel, et cela indépendamment de toute détermination de grandeur.

Ce qui précède paraîtra peut-être plus clair si l'on se figure une image superficielle tracée sur une feuille de caoutchouc extensible. On peut étendre cette plaque à volonté, modifier tous les rapports de lon-

gueurs des différentes parties ainsi que les angles compris entre les différentes lignes ; malgré toutes ces modifications, toute courbe fermée, menée par une certaine série de points de l'image, renferme toujours les mêmes points et laisse les autres en dehors; de plus, quelque modification qu'on fasse subir à la grandeur et à la forme des différentes parties d'une ligne quelconque de l'image, la succession des points de l'image qu'elle rencontre reste toujours inaltérée. De même, la disposition des points sur une carte géographique plane ne diffère nullement de ce qu'elle est sur la sphère terrestre, bien que les rapports des grandeurs sur la carte plane diffèrent nécessairement de ce qu'ils sont sur le globe, et cela d'autant plus qu'on représente une plus grande partie de la surface terrestre.

Si nous avons deux surfaces et que les points de l'une répondent d'une manière déterminée à ceux de l'autre, je dis que la *distribution des points* est la même sur les deux surfaces, toutes les fois que les séries de points qui se trouvent sur une ligne continue dans l'une des surfaces correspondent à des points qui se trouvent également sur une ligne continue dans l'autre surface, et que l'ordre de succession des points sur la même ligne est le même que celui des points correspondants sur la seconde.

En laissant errer le regard sur le champ de vision, la perception nous apprend immédiatement dans quel ordre les points s'y succèdent ; de sorte que, par ce mode de regard, on peut déterminer immédiatement tout au moins la distribution des points dans le champ de vision, sans avoir besoin de faire intervenir quelque faculté inconnue de la rétine.

Nous examinerons plus loin la question de savoir comment et jusqu'à quel point on peut déterminer, par l'évaluation oculaire, les rapports de grandeurs. Mais il nous faut ajouter ici que, tout au moins à l'âge où nous savons nous rendre compte de nos impressions, l'œil n'a pas besoin de se déplacer pour reconnaître la distribution des points dans le champ de vision : nous pouvons même obtenir des images planes déterminées en présence d'objets et de sensations qui, se mouvant avec l'œil, ne changent pas de position par rapport à la rétine. Ceci s'applique aux images accidentelles, aux vaisseaux rétiniens, aux houppes de polarisation et, en général, à la plupart des phénomènes subjectifs. Quel que soit le mouvement que nous donnions à l'œil, le point d'une semblable image subjective qui répond au point de fixation reste toujours le même, et nous ne pouvons jamais faire venir successivement, sur le milieu de la rétine, des parties différentes de l'image. Il est donc constant que nous sommes à même d'apprécier la distribution des points que nous voyons, dans le champ de vision, d'après la seule impression que

l'image rétinienne immobile produit sur la rétine en repos, et il n'est pas nécessaire d'examiner chaque fois, à l'aide de mouvements, quelle est la succession des différents points de l'objet.

Pour expliquer ce fait, on peut admettre, comme l'ont fait les partisans de la *théorie nativistique*, que nous possédons la connaissance innée de la distribution des points rétiniens sur la rétine (et même peut-être celle de leurs distances) ; connaissance qui nous mettrait immédiatement à même de reconnaître quels sont les points de l'image rétinienne qui se touchent, et quels sont ceux qui ne sont pas contigus. Il est évident que l'admission de cette hypothèse coupe court à toute recherche sur l'origine des images visuelles superficielles.

On comprend, d'un autre côté, que la faculté de reconnaître et de juger, même sans mouvement de l'œil, la distribution des objets dans le champ de vision, peut aussi être acquise, comme l'admet la *théorie empiristique* des perceptions visuelles. En effet, toutes les fois qu'à l'aide de mouvements de l'œil on a déterminé la distribution des différentes parties d'un objet en repos, on obtient aussi, en fixant un de ses points, une impression immobile de ses différentes parties sur la rétine ; l'expérience peut nous apprendre ainsi comment se présentent, dans l'image immobile de l'œil, deux points qu'un mouvement de l'organe a permis de reconnaître comme voisins : anatomiquement parlant, l'expérience peut nous enseigner quelles sont les particularités de la sensation visuelle qui appartiennent à des fibres contiguës de la rétine, et quand nous possédons cette connaissance, nous sommes à même de reconnaître la disposition, dans le champ de vision, des points d'un objet même immobile par rapport à l'œil.

Nous aurons donc à examiner si, sans admettre la connaissance innée de la distribution des points rétiniens, les facultés connues de la mémoire des sens suffisent à l'explication des faits. On ne peut évidemment pas faire, à ce sujet, d'expériences directes sur des nouveau-nés, et celles qu'on a faites sur des aveugles de naissance qui ont recouvré la vue par une opération n'ont pour ainsi dire rien appris, parce que ces prétendus aveugles n'étaient le plus souvent atteints que de cataracte et que, tout en voyant très-peu à travers leur cristallin troublé, ils étaient cependant capables, avant l'opération, de distinguer d'où venait la lumière, et n'étaient donc pas complétement dépourvus d'expérience sur la localisation de leurs impressions rétiniennes. Sous ce rapport, les cas d'occlusion congénitale de la pupille, guéris par la formation d'une pupille artificielle, seraient bien plus importants que les expériences sur les opérés de cataracte. On verra, à la fin de ce paragraphe, quelques cas remarquables de ce genre.

Mais ce n'est pas seulement dans le sens général, tel que je l'ai considéré jusqu'ici, que nous reconnaissons la distribution des points objectifs dans le champ de vision : nous distinguons aussi, jusqu'à un certain degré d'exactitude, les *rapports de grandeur* des lignes et des angles. Le dessinateur qui s'applique à rendre, par une image plane, l'impression des objets à trois dimensions, ne doit pas se borner à disposer les points de l'objet dans la succession qu'ils présentent à notre regard : il doit s'efforcer aussi d'observer certains rapports de grandeur entre les distances des différents points, si le dessin plan doit nous paraître semblable au corps à trois dimensions, de même que, si nous exécutons un dessin sur une lame de caoutchouc, lorsque nous la distendons irrégulièrement, l'aspect se modifie pour notre œil, bien que la distribution des points sur la surface reste invariable.

Pour ne donner lieu à aucune équivoque dans le développement des faits relatifs aux jugements que nous portons sur les rapports de grandeur et pour pouvoir rechercher l'origine de ces jugements, il nous faut établir préalablement quelques définitions et propositions relativement aux surfaces sur lesquelles nous supposons projetées les images du champ de vision.

La désignation de champ de vision s'applique, en général, à l'apparition des objets placés devant nous et considérés uniquement sous le rapport de leur disposition superficielle, indépendamment de la distance qui nous en sépare, et sans préciser s'il s'agit du regard fixe ou mobile, ou même accompagné de mouvements de la tête et du corps. Mais dans l'analyse que nous allons faire de nos perceptions, il est important de distinguer nettement ces différents cas. Nous pouvons conserver la dénomination vague de *champ de vision*, pour les cas où cette distinction entre le mouvement et le repos de l'œil importe peu, ou bien pour ceux où il s'agit, en général, des perceptions acquises tant pendant le mouvement de l'œil que pendant le repos, de même que le mot *vision* exprime toutes les applications du sens visuel. Par contre, j'ai déjà désigné, dans le paragraphe précédent, sous le nom de *champ de regard*, le champ qu'on peut parcourir en y promenant les yeux. Conformément à cette définition, je considère le champ de regard comme une surface invariablement liée à la tête, dont elle suit les mouvements, et dans laquelle on peut regarder avec un œil, — et respectivement avec les deux yeux, — un point nommé *point de regard* ou de *fixation*, de telle manière qu'il se représente sur le centre de la *fovea centralis*. Les différentes directions, en haut ou en bas, à droite ou à gauche, dans le champ de regard, sont indiquées d'après les direc-

tions correspondantes de la tête. Ce point du champ de vision qui se distingue particulièrement comme étant le point de fixation de l'œil correspondant, dans sa position primaire, prendra le nom de *point de regard principal* (*point de fixation primaire*). Le point diamétralement opposé, qui se trouve derrière la tête de l'observateur, et qui forme l'autre extrémité de celui des diamètres du champ de regard qui se dirige vers le point de regard principal, sera désigné, comme plus haut, sous le nom de *point occipital*. Dans la tête, c'est la ligne de jonction des centres de rotation des yeux que nous prendrons pour déterminer la direction horizontale et transversale. Si nous faisons passer un plan par cette ligne de jonction et le point de regard principal, nous obtenons le *plan méridien horizontal* du champ de regard ou la *position primaire du plan de regard*. Les autres plans méridiens du champ de regard passent par la ligne de jonction du point de regard principal et du centre de rotation de l'œil. Les lignes d'intersection des plans méridiens avec la surface imaginaire du champ de regard sont les *méridiens* de ce champ. Lorsqu'on se sert des deux yeux, il ne peut plus être question d'autres plans méridiens que de plans horizontaux, mais il y a toujours des lignes méridiennes, parce qu'on peut se figurer le champ de regard situé suffisamment loin pour que des plans menés par un point du champ de regard et les lignes visuelles de l'un et l'autre œil coupent le champ visuel suivant deux lignes infiniment voisines.

Ainsi les objets extérieurs immobiles changent de position, dans le champ de regard, lorsqu'on fait mouvoir la tête ; lorsque l'œil se meut, le même point du champ de regard se peint successivement sur des points différents de la rétine. Par contre, la fixation d'un même point du champ de regard exige invariablement la même position de l'œil par rapport à la tête, les mêmes contractions ou relâchements des différents muscles de l'œil ; nous pouvons donc présumer que chaque partie du champ de regard est plus ou moins exactement déterminée par les sensations particulières d'innervation et par les autres sensations qui peuvent accompagner, dans les parties avoisinantes de l'œil, chaque position de l'œil dans la tête.

Pour mesurer géométriquement le champ de regard, nous pouvons le considérer comme une surface sphérique d'un rayon infiniment grand, telle que la voûte céleste, et dont le centre se trouverait au centre de rotation de l'œil. La position d'un point qu'on voit dans le champ de regard se détermine en menant par ce point et par le centre de rotation de l'œil une ligne droite qu'on suppose prolongée jusqu'à la surface idéale du champ de regard. Le point où cette ligne coupe la surface

du champ de regard est la *position géométrique* du point considéré dans le champ de regard; et, dans un grand nombre de cas, nous aurons à distinguer cette position d'avec la *position apparente* dans le champ de regard, celle où nous localisons l'objet d'après l'*estimation oculaire.*

Le champ de regard, qui se rapporte à l'œil en mouvement, se distingue du *champ visuel,* que nous supposons se mouvoir avec l'œil de telle sorte que chaque point du champ visuel se peigne toujours sur le même point déterminé de la rétine. On verra, à la fin de ce paragraphe, que le changement d'accommodation ne fait pas varier notablement ce dernier point. Le champ visuel est donc, pour ainsi dire, la projection extérieure de la rétine avec ses images et ses autres particularités. Ainsi, les images accidentelles, l'arbre vasculaire, la tache aveugle, la tache jaune, se projettent toujours sur les mêmes parties du champ visuel. Aussi chaque point du champ visuel est-il désigné dans la sensation par les signes locaux qui répondent aux sensations de la partie correspondante de la rétine, et nous avons déjà fait remarquer plus haut que la localisation de la sensation d'une fibre nerveuse quelconque ne peut être ni désignée ni exprimée autrement que par l'indication de la partie du champ visuel à laquelle elle appartient, cette observation s'appliquant tant à nos propres représentations qu'à la manière dont nous les désignons dans le langage.

Mais le champ visuel, entraîné par le point de regard, peut se déplacer par rapport au champ de regard. Pour définir des directions déterminées dans le champ visuel, prenons pour point de départ la position primaire du globe de l'œil. Dans cette position, le plan méridien horizontal du champ de regard coupe le champ visuel suivant une ligne que je nommerai *méridien horizontal du champ visuel* ou, pour abréger, *horizon rétinien.* Les plans méridiens du champ visuel doivent être menés par la *ligne de visée principale*, c'est-à-dire par la ligne de visée qui se dirige vers le point de regard et dont nous pouvons admettre la coïncidence avec la *ligne de regard,* c'est-à-dire le rayon qui va du point de regard au centre de rotation de l'œil, d'autant plus que le centre de la pupille (voy. p. 25), de même que la ligne visuelle, est situé un peu vers le côté nasal de l'œil. On détermine la position de chacun des objets qu'on voit dans le champ visuel par la ligne de visée passant par l'objet en question, prolongée jusqu'à la surface du champ visuel.

Pour la mensuration géométrique et scientifique du champ visuel, le mieux est de le considérer comme une surface sphérique concentrique au champ de regard. Nous apprendrons, il est vrai, par la suite, que la position *apparente* des points dans le champ visuel ne répond pas à la

construction géométrique. Il faut donc également distinguer, dans le champ visuel, une *position géométrique* et une *position apparente* des points ; cette dernière étant déterminée par l'estimation oculaire.

Lorsque l'œil se déplace, la surface sphérique du champ visuel se déplace par rapport au champ de regard. La position du champ visuel est donnée à l'aide des lois des mouvements de l'œil, développées au paragraphe précédent, dès qu'on connaît la position du point de regard, qui reste invariable dans le champ visuel. Qu'on se figure un grand cercle joignant la position primaire et la position momentanée du point de regard, *aussi loin que les mouvements de l'œil suivent la loi de Listing, le méridien horizontal du champ de regard et l'horizon rétinien du champ visuel font, avec le cercle de jonction, des angles égaux.*

Pendant que le champ visuel se déplace par rapport au champ de regard, la position géométrique des projections des différents points de la surface sphérique commune au champ de regard et au champ visuel ne reste pas complétement invariable. Pour trouver la position d'un objet dans le champ visuel, il faut mener des lignes droites du point d'intersection des lignes de visée aux points de l'objet ; or, comme le point d'intersection des lignes de visée est à 3^{mm} environ en arrière de la cornée et à $12^{mm},9$ en avant du centre de rotation, ce point se déplace pendant les rotations de l'œil, et il en résulte une légère altération des lignes de visée. Cependant cette modification est relativement très-peu importante pour des points qui ne soit pas très-voisins de l'œil. Le calcul apprend que les déplacements apparents que l'objet subit pour des mouvements de l'œil ne dépassant pas 10 degrés sont plus petits que l'inexactitude des images dans l'œil accommodé pour l'infini ; en général, ils deviennent donc négligeables à côté de l'inexactitude de l'accommodation. Ces déplacements ne deviennent sensibles que pour des objets très-rapprochés et pour des mouvements étendus de l'œil. Si l'on tient, par exemple, tout près de l'œil, un crayon dont l'épaisseur soit à peu près égale à la largeur de la pupille et qui masque complétement une flamme, on peut percevoir la flamme dans la vision indirecte lorsque l'on tourne fortement l'œil d'un côté : l'image de diffusion du crayon se déplace suffisamment alors pour ne plus masquer la flamme. Ce procédé peut être appliqué avantageusement à l'étude de la vision indirecte, car il a pour effet d'empêcher absolument la vision directe de l'objet.

Ainsi, dès qu'il n'y a que des objets lointains dans le champ visuel, et que l'œil accommodé pour loin peut les voir tous ensemble sans confusion sensible, les déplacements que leurs projections exécutent dans le champ de regard sont négligeables, et l'on peut considérer la position

géométrique de ces objets dans le champ de regard comme indépendante des mouvements de l'œil.

Sous la restriction que nous avons indiquée, le champ de regard est la projection extérieure d'une image rétinienne invariable; le champ visuel, celle de la rétine même. Le champ visuel et le champ de regard se déplacent, l'un par rapport à l'autre, pendant les mouvements de l'œil, comme l'image rétinienne des objets extérieurs par rapport à la rétine même. Je préfère, dans l'exposé qui va suivre, remplacer la rétine et l'image rétinienne par les deux surfaces situées en dehors de notre œil : le langage deviendra ainsi l'expression plus exacte de notre conscience des faits; de plus, en rapportant toutes les positions aux deux champs sphériques, on évite de dire que nous jugeons la position des objets situés devant nous d'après la partie de rétine qui est frappée par l'image, — manière d'exprimer les choses qui a conduit à tant de confusions en portant à croire que nous ayons conscience de notre rétine, de sa grandeur et de son étendue. D'ailleurs, pour toutes les constructions sur des surfaces sphériques, le rayon de courbure est indifférent; seulement, lorsque sa grandeur est finie, il faut remplacer les lignes de visée par des lignes qui leur sont parallèles et passent par le centre de rotation de l'œil. C'est ainsi que nous pouvons prendre aussi, pour ces surfaces sphériques, des rayons négatifs, c'est-à-dire qu'on peut les placer derrière le centre de rotation, à l'endroit qu'occupent la rétine et l'image rétinienne. A une semblable surface sphérique, qui se trouve aux environs de la rétine réelle, on peut donner le nom de *rétine idéale*, sur laquelle se trouve une *image rétinienne idéale;* mais il ne faut pas croire qu'une semblable rétine schématique représente les dimensions de la rétine véritable autrement que par une très-grossière approximation. La rétine possède en réalité une forme ellipsoïdale, et l'image des objets extérieurs y subit diverses déformations par suite des asymétries de l'appareil réfringent. Quant à moi, je crois probable que la figure, la forme, la position de la rétine véritable, ainsi que les déformations de l'image rétinienne, sont absolument indifférentes pour la vision, pourvu que l'image soit nette dans toute son étendue, et que la forme de la rétine et celle de l'image restent sensiblement invariables d'un moment à l'autre. Nous n'avons absolument pas connaissance de l'existence de notre rétine. Ni l'expérience ordinaire, ni les expériences scientifiques ne nous mettent à même de rien apprendre au sujet des dimensions, de la position et de la forme de notre rétine, à l'exception de ce que nous pouvons déduire de son image optique que les milieux de l'œil projettent en dehors. Ce n'est que par l'intermédiaire des milieux de l'œil que la rétine est ordinairement en rapport avec le monde

extérieur, et elle n'existe en quelque sorte pour ce monde que telle qu'elle apparaît dans son image optique. Le champ visuel, tel que nous l'avons défini, est le représentant de cette image optique.

Lorsque l'œil est en présence de deux points lumineux, leur lumière excite deux fibres nerveuses différentes, et il se produit deux sensations qui doivent se distinguer entre elles par des signes locaux particuliers, puisque nous sommes à même de les discerner dans la sensation. A quelle partie de la rétine appartiennent ces signes locaux? C'est ce dont nous n'avons à priori pas plus de connaissance que de la position des fibres nerveuses qui les transmettent, ni de celle des parties du cerveau où se propage l'excitation. Si l'état actuel de la science nous permet de nous renseigner sur la partie de la rétine qui reçoit l'excitation, il nous est encore complétement impossible de résoudre la partie de la question qui a rapport au nerf optique et au cerveau. Cependant nous savons, par l'expérience journalière, comment il faut étendre le bras pour toucher tel ou tel objet lumineux ou pour le cacher à notre œil. Ces mouvements nous permettent donc de déterminer directement la position des objets dans le champ visuel, et nous apprenons directement à rapporter les divers signes locaux de la sensation aux endroits du champ visuel où se trouvent les objets. C'est aussi là le motif pourquoi les objets nous paraissent droits malgré le renversement des images rétiniennes : nous ne tenons aucunement compte des images rétiniennes dans la localisation des objets; leur formation n'a d'autre utilité que de concentrer sur des fibres nerveuses distinctes les rayons lumineux des divers points du champ visuel. Nous aurions tout autant de raison de nous étonner de voir l'impression d'un livre courir de gauche à droite, lorsque nous savons que les caractères employés en typographie sont renversés.

Il est donc plus exact de dire : « Nous sentons quel est l'endroit du champ visuel où apparaît un objet » que de dire « nous sentons la partie de la rétine où se représente l'objet ». Cette dernière manière de dire présente un sens exact lorsque nous voulons simplement exprimer par là que certaines particularités de la sensation, c'est-à-dire les signes locaux, sont propres aux sensations qui nous parviennent d'une partie déterminée de la rétine; pour la recherche scientifique, nous pourrions donc aussi caractériser les conditions locales de la sensation par la partie de la rétine qui reçoit la lumière. Mais cette expression mène facilement au malentendu d'après lequel nous posséderions, dans la vision naturelle, une sorte de connaissance cachée de l'existence et de la position réelle de l'élément rétinien, hypothèse que rien absolument ne me semble justifier.

Il a déjà été insisté plus haut, sur cette circonstance, que la con-

nexion entre les différences locales de la sensation et la position dans le champ visuel est tellement exclusive que pour préciser, soit pour nous-mêmes, soit dans le langage, la détermination locale de nos sensations, nous ne possédons aucun autre moyen que d'indiquer la partie du champ visuel à laquelle se rapporte la sensation.

Après avoir posé ces définitions, nous pouvons maintenant examiner jusqu'où s'étend notre faculté de juger les proportions dans le champ visuel, et quelles sont les illusions auxquelles nous sommes exposés dans cette appréciation.— Pour comparer avec quelque exactitude deux grandeurs dans le champ visuel, — lignes, angles ou surfaces, — nous avons recours à des mouvements de l'œil. Nous allons examiner d'abord ce que nous pouvons atteindre à l'aide de semblables mouvements; nous passerons ensuite à l'étude des modifications que subissent les mensurations lors de l'exclusion des mouvements de l'œil. Si je choisis cet ordre, c'est que les mensurations à l'aide des mouvements de l'œil, qui sont les plus exactes, me paraissent aussi précéder les autres.

Fechner (1) et Volkmann ont fait des expériences pour voir avec quelle exactitude on peut comparer des distances à peu près égales dans le champ visuel. — Le premier disposait les pointes d'un compas à des écartements de 10, 20, 30, 40 et 50 demi-lignes métriques; il plaçait ensuite, à vue d'œil, à la même distance, les pointes d'un second compas; ces deux instruments, dont les pointes seules étaient visibles, étaient couchés l'un à côté de l'autre sur une table, à un pied de l'œil, distance pour laquelle la vue était parfaitement distincte. Après chaque expérience, on déterminait l'erreur commise. — Volkmann suspendait, les uns à côté des autres, trois fils tendus verticalement par des poids et qu'il pouvait déplacer horizontalement; il rendait égales, à l'estimation, leurs distances qui variaient entre 10^{mm} et 240^{mm}; son œil était à 800^{mm} des fils. On faisait la somme des erreurs commises dans chaque série d'expériences, sans tenir compte du sens des erreurs, puis on divisait cette somme par le nombre d'expériences; l'*erreur moyenne* ainsi obtenue était toujours à peu près la même fraction de la longueur comparée. Voici, en fractions de la longueur totale des lignes, l'erreur moyenne de toutes les observations :

Fechner...........................	$\frac{1}{62,1}$
Volkmann, premières expériences........	$\frac{1}{88,0}$
— expériences plus récentes	$\frac{1}{101,1}$.

(1) Fechner, Psychophysik, I, p. 211-236. — Autres expériences par Hegelmayer, in *Vierordt's Archiv*, XI, 844-853.

Ces expériences donnèrent donc des résultats soumis à la loi psychophysique établie par Weber et généralisée par Fechner, loi que nous avons déjà rencontrée au sujet du rapport entre l'intensité de la sensation lumineuse et l'intensité objective, et d'après laquelle les différences perceptibles entre les grandeurs des sensations sont proportionnelles à la grandeur totale des objets perçus.

Volkmann a fait, avec un de ses élèves, d'autres expériences sur des distances bien plus faibles, qu'il fallait mesurer micrométriquement.— Les distances étaient déterminées par trois fils d'argent fins et parallèles, épais de $0^{mm},445$ et longs de 11^{mm}, mobiles à l'aide de vis micrométriques. On les disposait encore de manière à rendre égales, à vue d'œil, leurs distances qui variaient entre $0^{mm},2$ et $1^{mm},4$. Dans ces cas, les erreurs ne diminuaient plus en restant proportionnelles aux distances mesurées : elles se rapprochaient d'une limite inférieure, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, parce que, pour d'aussi petites distances, l'exactitude dans la distinction des plus petites parties du champ visuel, qui dépend de la finesse des éléments rétiniens, entre en ligne de compte. Mais on pouvait représenter l'erreur moyenne Δ comme la somme d'un membre constant et d'un autre membre proportionnel à la distance D des fils, d'après la formule

$$\Delta = v + WD,$$

v et W désignant deux constantes. En réduisant la distance visuelle à 340^{mm}, on obtient, pour ces constantes, les valeurs suivantes :

	v en millimètres.	W.
Volkmann, distances horizontales..............	0,008210	$\frac{1}{79,1}$
— distances verticales...............	0,007319	$\frac{1}{45,1}$
Appel, distances horizontales.................	0,005331	$\frac{1}{164,5}$
— distances horizontales, plus récemment....	0,008548	$\frac{1}{85,3}$

Les valeurs que présente W dans les deux premières séries font voir que la comparaison des distances verticales est bien plus imparfaite que celle des distances horizontales. — Pour s'en assurer il suffit, après avoir tracé des lignes verticales et des lignes horizontales, de chercher, à vue d'œil, à partager chacune en deux parties égales : après vérification faite, on trouve qu'en général la bissection des lignes verticales est entachée d'une erreur bien plus grande que celle des

lignes horizontales. Si l'on s'observe au moment où l'on compare deux distances ou deux lignes droites, on trouve que l'on ne remarque les petites différences qu'en amenant alternativement le point de fixation au milieu de chacune des deux lignes, de sorte qu'elles viennent se peindre successivement sur les mêmes parties de la rétine. En maintenant le point de fixation immobile, on laisse échapper bien des différences qui se manifestent aussitôt qu'on fait varier la direction du regard de la manière indiquée.

Il est bien plus difficile de comparer des longueurs verticales avec des longueurs horizontales, et il se produit une erreur constante, tenant à une disposition que nous avons à considérer les lignes verticales comme plus longues que les lignes horizontales de même longueur. La manière la plus facile de s'en assurer consiste à s'efforcer de tracer, à vue d'œil, un carré sur un papier placé perpendiculairement à la ligne visuelle. On fait toujours le côté vertical trop court : chez moi, l'erreur varie entre 1/30 et 1/60 de la base; elle est, en moyenne, 1/40 environ; cependant ce rapport paraît varier beaucoup d'une personne à l'autre. Wundt (1) évalue cette différence à un cinquième.

Volkmann (2) a fait également des expériences sur les erreurs qu'on commet en évaluant le rapport de deux distances inégales. — L'observateur plaçait une ligne mobile entre deux autres lignes, à un, deux, trois, quatre, cinq dixièmes de la distance totale. On trouva, en premier lieu, entre la moyenne de toutes les expériences relatives à un certain rapport et la disposition exacte, des écarts que Volkmann nomme *erreurs constantes;* les écarts par rapport à la moyenne de chaque série s'appellent *erreurs variables.* Les erreurs constantes faisaient toujours prendre la distance de gauche un peu trop grande par rapport à celle de droite. Le tableau suivant indique, en millièmes de ligne, la moyenne des erreurs constantes de 40 expériences où l'on cherchait à subdiviser une ligne de Paris.

Erreurs constantes pour des séries de 40 expériences.

RAPPORTS DEMANDÉS.		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Point de départ	à gauche	13,4	19,8	6,7	11,7	3,4	13,4	24,8	10,0	6,8
	à droite.	—10,8	— 9,3	—20,0	—12,0	— 6,2	— 4,5	— 9,5	—19,7	—19,4
	en bas..	+ 2,9	+ 2,9	—12,1	— 5,9	—13,5	— 2,2	+ 7,2	+ 5,1	+11,6
	en haut.	— 5,0	— 4,7	— 6,0	+ 3,9	+ 9,7	+13,6	—17,4	— 7,3	—10,8

(1) Vorlesungen über Menschen- und Thierseele, p. 225.
(2) *Berichte der kön. Sächs. Ges.* vom 7. August 1858.

Pour les deux premières lignes du tableau, la distance à diviser était horizontale ; pour les deux dernières, elle était verticale. Le point de départ indiqué est l'extrémité à partir de laquelle on commençait à mesurer.

On additionnait les valeurs absolues des erreurs variables, sans tenir compte des signes, et l'on divisait la somme de ces erreurs par le nombre des observations. Les valeurs moyennes de ces erreurs se trouvèrent être à peu près égales pour les rapports complémentaires. Voici ces moyennes pour des séries de 160 observations (de 80 observations seulement pour la dernière colonne).

Moyennes des erreurs variables.

RAPPORT DEMANDÉ.	0,1 et 0,9	0,2 et 0,8.	0,3 et 0,7.	0,4 et 0,6.	0,5
Distance à partager — horizontale..	6,73	4,36	3,01	2,64	1,11
Distance à partager — verticale....	7,09	9,01	9,95	8,61	7,98

Les erreurs présentèrent des valeurs absolues plus grandes, mais des valeurs relatives un peu moindres, dans une autre série d'expériences où la longueur à partager était de 100^{mm} et où les limites des distances respectives étaient marquées par trois cheveux minces suspendus à l'échelle graduée. Les grandeurs sont exprimées en dixièmes de millimètre, de sorte que l'unité est encore un millième de la quantité à partager.

Erreurs constantes.

RAPPORT DEMANDÉ.	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
En partant de — gauche	2,35	7,45	0,5	10,7	4,15	12,4	11,3	0,85	4,10
En partant de — droite.	—1,8	+0,6	—11,1	— 5,2	—4,0	— 7,5	— 5,5	—4,4	—2,8

Moyennes des erreurs variables.

Pour les fractions 0,1 et 0,9 = 2,6
— 0,2 et 0,8 = 5,6
— 0,3 et 0,7 = 7,9
— 0,4 et 0,6 = 6,5
— 0,5 = 2,8.

Lorsqu'il ne s'agit pas seulement de reconnaître l'égalité de distances égales, mais d'estimer les rapports de distances inégales, il est nécessaire de déterminer, entre les extrémités de la distance donnée, la ligne qui doit servir à mesurer la distance. Dans le plan, c'est la ligne droite. Dans le champ de regard, qui présente l'aspect d'une surface courbe, on ne peut pas mener de ligne droite, et même pour tracer, sur cette surface, les lignes les plus courtes, il faudrait avoir une notion exacte de la courbure du champ de regard, et cette notion n'est pas assez déterminée chez nous. Si l'on se représente le champ de regard comme une surface sphérique dont le centre soit au centre de rotation de l'œil, comme on le fait ordinairement pour les démonstrations géométriques, on pourrait s'attendre à voir les lignes droites objectives, qui se projettent sous forme de grands cercles dans le champ de regard sphérique, se présenter, dans le champ visuel, comme des lignes de plus courte distance, comme des lignes sans courbure. Mais c'est ce qui n'a lieu que sous certaines conditions.

Quand nous examinons une ligne droite, telle que l'arête d'une règle, et que nous cherchons à déterminer, à vue d'œil, si elle est réellement droite ou si elle est courbe, d'après l'illusion mentionnée au paragraphe précédent, notre jugement dépend de la position de l'œil dans la tête. Si nous tenons la règle horizontalement et trop bas, le bord supérieur paraît présenter une concavité vers en haut ; si nous la tenons trop haut, le bord paraît concave vers en bas. On s'assure facilement qu'il y a là une illusion d'optique, en retournant la règle de manière que le bord supérieur devienne inférieur ; une concavité réelle de la règle changerait de sens dans ce mouvement, tandis que celle produite par l'illusion d'optique persiste. Si l'on tient la règle de manière que le milieu de son bord réponde à la position primaire, ce bord paraît droit s'il l'est réellement. Nous avons assurément une disposition naturelle à choisir la position primaire lorsque nous avons à décider, à vue d'œil, une question de ce genre, mais la certitude avec laquelle on obtient cette position n'est pas très-grande. En revanche, je trouve que, dans la position primaire, je découvre sur une règle des courbures assez faibles lorsque je tourne la règle de manière qu'elle me présente successivement ses deux faces, ce qui produit un retournement dans le sens de la courbure qu'elle peut posséder. En procédant ainsi, j'ai pu reconnaître la courbure convexe d'une règle d'ivoire de 200^{mm} de longueur, dont la flèche ne mesurait que $0^{mm},35$, c'est-à-dire dont le rayon de courbure était d'environ 14^{m} ; j'ai reconnu de même la concavité d'une autre règle dont la flèche mesurait un demi-millimètre. Mais des déterminations aussi exactes ne

s'obtiennent pas avec le regard fixe; il faut s'aider de mouvements de l'œil.

Nous pouvons distinguer également, avec une grande exactitude, si des lignes droites sont parallèles ou non. — A cet effet, on promène le regard le long de l'une des lignes ou entre les deux; on reconnaît alors, avec une assez grande exactitude, si leur écartement est le même aux deux extrémités. C'est ainsi que nous reconnaissons avec une grande certitude relative, si deux angles dont les côtés sont parallèles chacun à chacun sont égaux ou non, parce que nous reconnaissons facilement une petite déviation du parallélisme, dont nous concluons à l'inégalité des angles. D'après des expériences de E. Mach (1), l'appréciation du parallélisme est plus exacte pour des lignes horizontales ou verticales que pour des lignes obliques. D'un autre côté, la comparaison d'angles dont les côtés ne sont pas parallèles n'est pas seulement très-incertaine, mais elle est encore soumise à des erreurs constantes assez régulières.

La question de ce genre dont la solution est relativement la plus facile consiste à décider si deux angles adjacents sont égaux, et par conséquent s'ils sont droits. Lorsque, de deux lignes qui se coupent à angles droits, l'une est horizontale et l'autre verticale, l'œil droit de la plupart des individus considère comme obtus les angles droits situés à droite et en haut, à gauche et en bas, les deux autres paraissant aigus. L'œil gauche, au contraire, regarde comme aigus les angles qui paraissent obtus à l'œil droit, et inversement. Il faut remarquer ici qu'il faut diriger successivement les deux yeux, perpendiculairement au plan du dessin, vers le point d'intersection des lignes. Si l'on cherche, au contraire, à mener, à vue d'œil, une perpendiculaire à une ligne horizontale donnée, l'extrémité supérieure de cette ligne penche d'environ un degré à droite, si l'on a fait le dessin en regardant avec l'œil droit, et à gauche si l'on a fait usage de l'œil gauche. C'est ainsi que dans la figure 169 l'intersection des lignes *ab* et *cd* présente à mon œil droit une croix exactement rectangulaire, tandis que les portions de ligne γ et δ désignent la position des verticales véri-

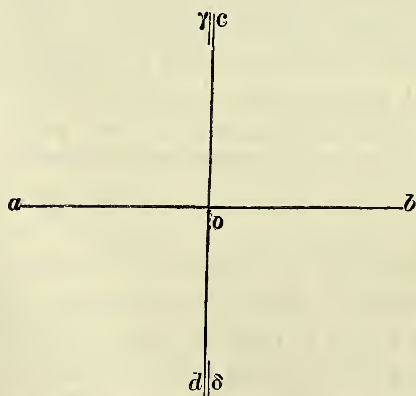


Fig. 169.

(1) *Sitzungsber. d. k. k. Akad. zu Wien,* 1861, XLIII, 215-224.

tables. Si je regarde le même dessin avec l'œil gauche, l'extrémité supérieure de *cd* me paraît, au contraire, pencher à droite plus qu'elle ne fait réellement.

L'erreur que l'on commet relativement aux angles droits dépend de l'inclinaison de leurs côtés par rapport à l'horizon rétinien. Les angles droits sont vus correctement par mon œil droit lorsque l'extrémité supérieure de l'un des côtés penche d'environ 18 degrés à gauche de la verticale ; ils paraissent droits à mon œil gauche pour la même inclinaison à droite. D'un autre côté, la différence paraît présenter son maximum lorsque les côtés sont à 45° de cette dernière position ; alors les angles dirigés à droite et à gauche apparaissent comme des angles de 92°, ceux qui s'ouvrent en haut et en bas paraissent mesurer 88° environ.

Lorsque l'un des côtés est horizontal, mes yeux considèrent respectivement comme droits des angles de 91°,2 et de 88°,8 ; pour l'œil gauche de Volkmann (1) l'angle est de 91°,1 et pour son œil droit, de 90°,6 ; remarquons que cet observateur n'a pas examiné une croix : il essayait de placer une même ligne tantôt horizontalement, tantôt verticalement ; chaque observation était répétée 60 fois.

Je trouve, de même, qu'on commet des erreurs considérables lorsqu'après avoir dessiné un angle de 30° à 45° dont un côté soit horizontal, on cherche à mener, à vue d'œil, par le sommet de cet angle, une troisième ligne plus rapprochée de la verticale, de manière à former un second angle qui soit égal au premier. On fait régulièrement cet angle bien trop grand. Le premier angle étant de 30°, je faisais le second de 34° au moins, quel que fût l'œil employé et le côté vers lequel s'ouvrît l'angle. Mais dès que je tournais la figure de telle manière que la branche dessinée en dernier lieu devînt horizontale, la différence de grandeur apparaissait avec exagération.

Dans le même ordre de faits, on sait que, dans un triangle équilatéral correctement dessiné, l'angle au sommet paraît toujours plus petit que les angles à la base.

Si nous demandons maintenant comment il est possible de comparer des grandeurs appartenant à des parties différentes du champ visuel, les observations personnelles citées plus haut nous fournissent déjà un moyen de comparaison toutes les fois que les grandeurs sont disposées de façon à pouvoir se présenter successivement sur la même partie de la rétine ; le mieux est qu'elles se peignent sur le milieu de cette membrane et que leurs points correspondants se présentent successivement

(1) Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik, Leipzig, 1864, Heft 2, p. 224-225.

sur les mêmes points de la rétine. C'est, en réalité, le procédé que nous appliquons, par exemple, pour comparer, à vue d'œil, les longueurs de deux lignes droites *A* et *B* parallèles entre elles. Nous portons alternativement, et à plusieurs reprises, le regard sur le milieu de *A* et sur le milieu de *B*, et nous cherchons à déterminer si nous obtenons exactement la même sensation dans les deux cas, c'est-à-dire si les mêmes points rétiniens sont atteints, sur la même étendue, par les images des deux lignes. Il est évident qu'il nous est inutile, à cet effet, de connaître ni la forme ni la longueur de l'image sur la rétine. La rétine est comme un compas dont nous plaçons successivement les pointes aux extrémités de lignes différentes, pour voir si elles sont ou non de même longueur; il nous suffit de savoir que la distance des pointes et la forme du compas sont restées invariables.

Cependant il y a une différence entre la comparaison avec la rétine et celle avec le compas. Nous pouvons, en effet, placer arbitrairement la ligne qui joint les pointes du compas, tandis que la loi des mouvements de l'œil ne permet pas d'en faire autant pour la ligne de jonction de deux points rétiniens, à moins d'exécuter des mouvements étendus de la tête qui, à cause des grands efforts qu'ils exigent, ne peuvent pas être modifiés aussi fréquemment ni aussi rapidement; de plus, ces mouvements, lorsqu'on les exécute, ont le plus souvent pour résultat une modification essentielle du point visuel, de la position de notre œil dans l'espace, et, par suite, de toute la perspective. Soient *ab* et $\alpha\beta$ les deux couples de points du champ visuel dont on doit comparer les écartements ; supposons que j'aie commencé par fixer *a* de manière que son image vienne au centre *A* de la *fovea centralis* et que le point *b* vienne alors sur le point rétinien *B* ; lorsque je dirige l'œil de manière à fixer α pour amener son image au centre *A* de la rétine, le point rétinien *B* prend, pour cette nouvelle position de la ligne visuelle, une position tout à fait déterminée que je ne puis pas modifier arbitrairement sans mouvoir la tête en totalité : la ligne $\alpha\beta$ doit avoir une position tout à fait déterminée, dans le champ visuel, si β doit pouvoir se peindre en *B*.

Si *a*, *b*, α et β sont assez rapprochés du point de regard principal pour qu'on puisse considérer comme plane la partie du champ visuel qui contient ces points, les lignes *ab* et $\alpha\beta$ ne peuvent se présenter successivement sur les mêmes points de la rétine que lorsqu'elles sont parallèles. C'est précisément pour cette raison que l'on peut bien comparer avec certitude les longueurs de deux lignes parallèles, tandis qu'on est exposé à de grossières erreurs dans la comparaison de deux lignes non parallèles, même lorsqu'elles sont voisines l'une de l'autre.

On peut, comme nous l'avons déjà dit plus haut, juger avec certitude

du parallélisme de deux lignes par l'uniformité de leur distance en tous leurs points, de l'égalité de deux angles à côtés parallèles par un procédé analogue.

Pour juger si une ligne du champ visuel est droite, lorsqu'elle passe par le point de regard principal, on peut en y promenant le regard amener successivement tous les points de cette ligne sur la même ligne de la rétine. Nous avons vu dans le paragraphe précédent que si nous développons l'image accidentelle d'une portion de ligne droite qui passe par le point de regard principal, lorsque nous promenons le regard suivant le méridien qui contient cette portion de ligne, l'image accidentelle reste sur ce méridien. Dans ces expériences, l'image accidentelle désigne, dans le champ visuel, la projection des parties de la rétine qui ont reçu l'impression de l'objet linéaire et il suit de là que toutes les parties d'un semblable méridien peuvent se peindre successivement sur les mêmes points de la rétine.

Ainsi, tandis que le regard parcourt un semblable méridien, la ligne correspondante de l'image rétinienne se déplace sur la ligne correspondante de la rétine même, de manière qu'elles présentent une coïncidence continuelle, et l'on voit le champ visuel se déplacer par rapport au champ de regard de telle façon que le méridien du champ visuel se déplace sur celui du champ de regard sans cesser de coïncider avec lui.

Les *cercles de direction* mentionnés dans le paragraphe précédent (p. 636) et qui passent tous par le *point occipital* du champ de regard jouissent de cette propriété d'être des lignes du champ visuel dont l'image se déplace suivant elle-même. On a vu, à propos de ces cercles, que si une image accidentelle linéaire coïncide avec un cercle de direction lorsqu'on fixe un point d'un pareil cercle, elle coïncide avec ce cercle en tous ses autres points. Comme la position de l'image accidentelle est invariable sur la rétine, on constate également, par ce fait, qu'en parcourant du regard un semblable cercle de direction, tous les éléments linéaires de ce cercle se peignent continuellement sur la même ligne rétinienne.

Nous avons également fait remarquer, au même endroit, qu'une image accidentelle linéaire de peu de longueur coïncide avec les autres cercles de direction qui ont la même tangente au point occipital.

Ces propriétés que nous avons mentionnées donnent aux cercles de direction une importance toute spéciale pour l'œil. — Dans le plan, la ligne droite se distingue de toutes les autres en ce que ses parties coïncident l'une avec l'autre, de quelque manière qu'on les superpose. Il n'y a que le cercle qui partage avec la ligne droite cette propriété de coïncider en ses différentes parties et, par suite, de pouvoir glisser sur lui-

même. Mais deux arcs égaux, pris dans un même cercle, ne coïncident qu'à condition qu'on les superpose d'une manière déterminée : on peut également en superposer les extrémités sans faire coïncider les parties moyennes. C'est sur cette propriété de la ligne droite que repose principalement son importance comme mesure de longueur : nous ne pouvons appliquer, en effet, à cet usage, qu'une ligne qui soit complétement déterminée par la position de ses extrémités et dont on puisse faire coïncider toutes les parties par superposition.

Le champ de regard ne contient qu'une sorte de lignes pour lesquelles on puisse constater, par un acte immédiat de sensation, qu'elles peuvent glisser sur elles-mêmes et que, par conséquent, toutes leurs parties peuvent coïncider entre elles ; d'après l'explication qui précède, en tenant compte de la loi de Listing, ce sont les *cercles de direction* ou *cercles directeurs*. Il peut bien se présenter, dans le champ de regard, d'autres cercles que nous devons considérer comme pouvant glisser sur eux-mêmes, mais on ne peut pas le constater par un acte immédiat de la sensation, sans le secours de mensurations et de déductions.

Lorsque, dans ses mouvements, un œil s'écarte de la loi de Listing, il n'existe pas nécessairement pour lui des lignes qui puissent glisser indéfiniment sur elles-mêmes pendant les mouvements du regard ; mais on pourra toujours construire des lignes dont tous les éléments viennent se peindre successivement sur un même élément linéaire rétinien mené par le centre de la rétine. Nous donnerons à ces lignes le nom de *lignes directrices* du champ de regard. Ce n'est que pour les mouvements conformes à la loi de Listing que *toutes* les lignes directrices du champ de regard peuvent glisser sur elles-mêmes et donnent une image rétinienne inaltérée à l'œil qui les parcourt. C'est là une propriété essentiellement particulière aux mouvements de l'œil conformes à la loi de Listing.

Les lignes droites de l'espace objectif se dessinent suivant des grands cercles dans le champ visuel sphérique. Les grands cercles ne coïncident avec les cercles directeurs que lorsqu'ils passent par le point de regard principal (position primaire de la ligne de regard). Dans ce cas, comme on le voit par les expériences décrites plus haut, de petites portions de ces lignes paraissent droites ; dans tout autre cas, elles paraissent courbes, et le sens de cette courbure est contraire à celui de la courbure véritable des cercles directeurs.

Les cercles directeurs, les lignes directrices, doivent, en effet, jouer dans le champ visuel plan le rôle des lignes droites, qui sont les lignes de direction constante dans le plan. Une règle de faible longueur fournit le moyen de tracer, dans le plan, une ligne droite indéfinie ; il suffit de

tracer d'abord une ligne de la longueur de la règle, puis de déplacer la règle le long de cette ligne, et ainsi de suite. En procédant ainsi, si la règle est exactement droite, on obtient une ligne droite ; si elle est un peu courbe, on obtient un cercle. Dans le champ visuel, la partie centrale de la vision distincte, affectée d'une sensation visuelle linéaire pouvant, dans certaines circonstances, devenir une image accidentelle, joue le rôle de la règle mobile dont il vient d'être question. Nous déplaçons le regard suivant cette ligne ; la ligne se déplace alors elle-même et nous indique encore la direction à suivre. Dans le plan, nous pouvons également bien appliquer ce procédé avec une règle rectiligne ou courbe, mais dans le champ visuel, à chaque position du regard ne répond, pour une direction déterminée du mouvement, qu'une seule espèce de ligne qui puisse glisser d'une manière continue sur elle-même.

Nous voyons donc comment les mouvements de l'œil et leur loi déterminée rendent possibles certaines mensurations dans le champ de regard. Mais, ainsi qu'il a été déjà remarqué plus haut, la vision indirecte permet, même pour le repos complet de l'œil, une certaine appréciation des dimensions du champ visuel, évaluation nécessairement bien moins précise que celle obtenue lors des déplacements du regard, ne fût-ce qu'à cause de la netteté bien moindre comportée par la vision indirecte. C'est pour les phénomènes subjectifs que la faculté d'exécuter de semblables mensurations se manifeste de la manière la plus frappante, ces phénomènes, tels que la figure vasculaire, ne pouvant s'observer que dans la vision indirecte. Nous sommes à même de dessiner une semblable figure, de percevoir ses déformations lorsqu'on fait varier la direction de l'éclairage, et nous nous en formons une notion déterminée bien que nous ne puissions pas, par des mouvements de l'œil, en modifier la position sur la rétine et en parcourir du regard les différentes parties. De même, lors de l'éclairage instantané du champ visuel par un éclair dont la durée est trop faible pour admettre un mouvement sensible de l'œil, nous sommes en état d'apprécier en gros la forme des objets placés devant nous.

Mais ce mode d'observation est accompagné d'illusions particulières de l'estimation oculaire, illusions importantes en ce qu'elles paraissent donner des indications sur la manière dont nous sommes parvenus à la mensuration du champ de la vision indirecte.

En premier lieu, il faut mentionner ici les illusions décrites plus haut, relatives à la comparaison des angles non parallèles et des lignes à directions différentes ; en effet, il suffit de s'observer pour s'assurer que

les mouvements de l'œil ne concourent pas, et ne peuvent pas concourir, dans les cas de ce genre, à la rectification du jugement. Ces illusions se présentent aussi bien lorsqu'on fixe invariablement un point que lorsqu'on promène le regard.

Il faut mentionner encore un autre système d'illusions dont je n'ai encore trouvé la mention nulle part et qui se rapportent aux lignes droites apparentes du champ visuel, et à la grandeur apparente des parties périphériques de ce champ. Dans le plan, les lignes droites sont en même temps les plus courtes et celles qui ne présentent aucune courbure ni d'un côté ni de l'autre. Sur la sphère, ce sont les grands cercles, dont le rayon est perpendiculaire à la surface sphérique, qui paraissent ne présenter aucune courbure. Tous les petits cercles, au contraire, paraissent concaves du côté de la plus petite des calottes sphériques qu'ils circonscrivent, convexes du côté opposé.

Nous pouvons nous demander à présent quelles sont les lignes sans courbure dans le champ visuel. Sont-ce, comme on pourrait le supposer d'abord, les grands cercles du champ supposé sphérique ? On peut facilement s'assurer qu'il n'en est pas toujours ainsi.

Qu'on répète l'expérience, déjà citée, des trois étoiles ; seulement, au lieu de déplacer le regard, qu'on le maintienne fixe. Qu'on cherche sur le ciel trois étoiles brillantes situées le plus approximativement possible sur un grand cercle, ce qu'on peut reconnaître assez exactement en les visant le long d'un fil tendu ; qu'on choisisse ces étoiles le plus loin possible l'une de l'autre, et cependant assez brillantes pour pouvoir être reconnues facilement à la vision indirecte et être distinguées des autres étoiles plus petites. Lorsqu'on s'est arrêté à trois étoiles qui soient dans ces conditions, si l'on fixe celle du milieu, elles paraissent placées en ligne droite, ou si elles ne sont pas tout à fait exactement sur un grand cercle on reconnaît sans erreur dans quel sens et même approximativement de combien elles s'en écartent. Mais si l'on vient à transporter le point de fixation, à quelque distance, d'un côté ou de l'autre de la ligne d'étoiles, on voit aussitôt cette ligne présenter une concavité dirigée vers le point de fixation, concavité d'autant plus marquée que le point de fixation est plus éloigné de la ligne d'étoiles. Cette expérience nous apprend que, pour le regard immobile, un grand cercle n'apparaît sans courbure sur le ciel que lorsqu'il passe par le point de fixation, et que, dans tout autre cas, il présente une concavité tournée vers le point de fixation. Il s'ensuit de plus que, pour que des lignes paraissent droites sur les parties périphériques du champ visuel, il faut qu'elles présentent, en réalité, sur la voûte céleste, une convexité tournée vers le point de fixation.

Sur les objets terrestres, on est facilement influencé, dans l'estimation des dimensions du champ visuel, par les notions déjà acquises relativement aux dimensions véritables de l'objet; mais on réussit cependant à percevoir la même illusion en présence de ces objets.

Le mieux est de se pencher bien avant au-dessus d'une grande table, de manière à n'avoir plus, dans le champ visuel, de ligne droite qui puisse servir de repère, puis de fixer un point de la table. — Si l'on place ensuite, à une certaine distance du point de fixation, trois fragments de papier, ou d'autres objets clairs, et qu'on cherche à les disposer en ligne droite, dès qu'on dirige le regard sur les papiers, on trouve toujours qu'on les a placés suivant un arc dont la convexité est tournée vers le point qui servait à la fixation.

Si l'on place sur la même table une longue bande de papier dont les bords parallèles sont distants de trois pouces environ, fixant le milieu de la bande, on remarque qu'à la vision indirecte ses extrémités paraissent plus étroites que le milieu et qu'elle paraît limitée par deux arcs qui se regardent par leurs concavités.

Sur les lignes droites d'étendue apparente plus faible, on ne remarque pas, le plus souvent, la courbure, parce que nous sommes bien plus disposés à les considérer comme des lignes droites appartenant à des objets réels que comme des grands cercles du champ visuel.

Tandis que les grands cercles qui ne passent pas par le point de fixation paraissent présenter une concavité tournée vers ce point, les cercles parallèles à un grand cercle mené par le point de fixation paraissent présenter, au contraire, une convexité dirigée vers ce point. —Pour s'en assurer, qu'on courbe suivant un demi-cylindre, de rayon un peu considérable, une bande de papier large de 3 à 5 pouces et qu'on place l'œil au milieu de l'axe. Si l'on fixe le milieu de la bande, elle paraît plus large vers les deux extrémités et semble limitée par deux arcs dont les convexités sont en regard. Les parties extrêmes de la bande se trouvent à la même distance de l'œil que le milieu et, pour cette raison, elles apparaissent, géométriquement, sous le même angle visuel que le milieu : cependant, dans le champ visuel, elles paraissent plus larges que le milieu de la bande.

Figurons-nous le point de fixation situé à l'horizon, et, verticalement au-dessus de ce point, à la hauteur h, un point par lequel on doit mener une ligne horizontale qui paraisse droite à la vision indirecte. Le grand cercle qui coupe l'horizon à la même distance à droite et à gauche, et qui passe à la distance h au-dessous du point occipital de l'observateur, paraît concave inférieurement. Un cercle parallèle à l'horizon, qui serait réellement partout horizontal, et qui passerait à la distance h

au-dessus du point occipital, ne répondrait pas non plus à la question, il présenterait une convexité inférieure. Comme ces deux cercles présentent des courbures apparentes de sens contraire, la ligne qui doit paraître droite doit se trouver entre ces deux cercles et, si c'est un cercle, il doit passer au-dessus ou au-dessous du point occipital, à une distance moindre que h. Nous pouvons donc penser aux cercles directeurs du champ de regard, qui passent par le point occipital lui-même. Voyons s'ils répondent à la question.

A cet effet, j'ai projeté sur un tableau les cercles de direction du regard dont les directions se rapportent à la ligne verticale et à la ligne horizontale menées par le point de fixation; cette construction donne des hyperboles. — Pour les faire apparaître le plus nettement possible dans tout le champ visuel, même dans les parties vues indirectement, j'ai coloré en noir et blanc, comme un damier, les cases du treillis formé par les courbes. La figure 170 représente ce dessin à l'échelle de 3/16 ; A désigne, à la même échelle, la distance qui doit séparer du tableau l'œil de l'observateur placé juste en face du milieu. On fixe le centre du dessin. Le tableau représenté par la figure 170 était suspendu au mur de la chambre; le milieu était à la hauteur de mes yeux. Pour vérifier la distance de l'œil, qui devait être de 20 centimètres, j'employais une équerre dont les côtés mesuraient 20 centimètres; l'un de ses côtés étant appliqué sur le tableau, le sommet opposé servait d'appui à l'angle externe de l'œil.

L'expérience montra qu'effectivement les cercles de direction du champ de regard, projetés sous forme d'hyperboles (1), apparaissent alors dans le champ visuel, sous forme de lignes droites, ou, du moins, de lignes qui ne semblent présenter aucune courbure dans le plan du champ visuel. Les différentes files verticales et horizontales des cases blanches et noires paraissent droites et semblent présenter partout la même largeur, tant qu'on fixe consciencieusement le centre du dessin. Il est clair que la courbure des rangées périphériques apparaît dès qu'on y porte le regard. Il se présente alors une illusion particulière : dès que je laisse errer le regard, le dessin me paraît concave, comme une coupe, de telle sorte que la courbure des hyperboles paraît se former suivant la surface et que, dans cette surface courbe, les lignes apparaissent comme des grands cercles (ou lignes de moindre longueur). La production de cette notion lève, jusqu'à un certain point, la contradiction entre la vision directe et la vision indirecte. Les hyperboles ne présen-

(1) L'équation de ces hyperboles est indiquée, dans le paragraphe précédent, en 3c) et numéros suivants ; leurs distances sur l'horizontale et la verticale moyennes sont choisies de manière à répondre à des angles visuels égaux.

tent pas de courbure suivant les directions comprises dans le champ visuel : c'est le champ visuel lui-même qui paraît courbe.

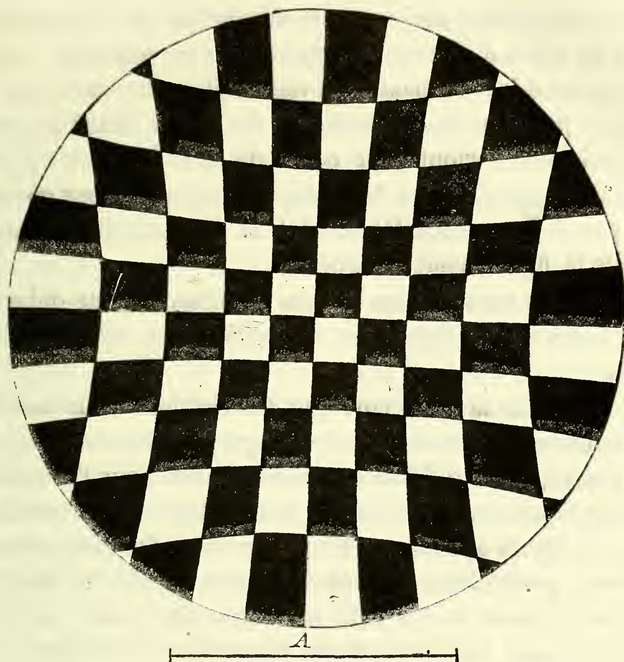


Fig. 170.

Il faut donc avoir bien soin, dans cette expérience, de maintenir invariablement le regard sur le milieu du tableau. Si l'on ne parvient pas à s'affranchir facilement de l'idée de la forme véritable de l'objet, on peut faciliter l'illusion en tenant appliquée devant l'œil une lentille dont on amène le foyer sur le tableau. Par ce moyen, on défigure, sans doute, un peu les parties périphériques de l'image : pour les rayons dont l'incidence est très-oblique, la réfraction par la lentille augmente la courbure des hyperboles ; mais la plus grande partie du tableau, celle qui est centrale, est vue à travers la lentille comme à une distance infinie, ce qui aide à faire abstraction de sa forme véritable.

L'illusion réussit le plus complétement lorsqu'on fixe le centre du tableau assez longtemps pour développer une image accidentelle bien accentuée qu'on observe ensuite en fermant les yeux et se tournant vers le jour.

Pour compléter l'expérience, je partis d'un point situé à plus de 20 centimètres du tableau ; les différentes hyperboles paraissant alors courbes, je me rapprochai peu à peu de manière à les voir droites, et

je mesurai à l'aide de l'équerre la distance qui séparait mon œil du tableau. Si je m'approchais davantage encore, les hyperboles commençaient à présenter une courbure inverse de celle qu'elles avaient réellement. Je trouvai presque toujours une distance de 20 centimètres entre mon œil et le tableau, lorsque j'appliquais mon attention aux lignes horizontales et que je cherchais à les voir droites ; le résultat se présentait également pour les lignes verticales du centre. Pour les verticales plus périphériques, surtout pour celles du côté temporal, j'avais une tendance à me rapprocher un peu plus du tableau. Leur courbure ne paraissait pas s'effacer complétement à la distance de 20 centimètres pour laquelle la figure avait été calculée.

Les phénomènes restaient les mêmes en tenant la tête obliquement, de manière à amener les lignes du tableau sur des méridiens obliques de la rétine.

Il résulte donc de là que, tant que l'indécision de la vision et de l'estimation indirectes permettent d'en juger, les lignes directrices du champ de regard, telles qu'elles se présenteraient pour l'immobilité du point de regard principal, paraissent être les lignes sans courbure, par conséquent les lignes apparentes les plus courtes du champ visuel.

Cette forme particulière des plus courtes lignes du champ visuel influe encore, comme on l'a déjà remarqué plus haut, sur la forme apparente du champ visuel et sur les dimensions des objets. — Qu'on suppose tracés le méridien horizontal du champ visuel et, à 10° au-dessus de son centre, une ligne directrice horizontale. Cette ligne rencontre le méridien horizontal et lui est tangente à 180° de distance, en arrière de la tête de l'observateur ; mais à 90°, sur les bords du champ visuel, la ligne n'est plus séparée du méridien que par une distance verticale de 5°, et comme les deux cercles présentent, dans le champ visuel, l'aspect de lignes parallèles, leur distance verticale de 5° sur les bords paraît aussi grande que celle de 10° au milieu ; de même, sur les autres parties du bord du champ visuel, les dimensions horizontales des images qui sont parallèles à ce bord paraissent relativement trop grandes.

C'est ce qu'on voit également dans les expériences suivantes. — Qu'on se place de manière à voir latéralement, à 90° environ du point de fixation, une porte blanche qui se détache sur un mur foncé, ou un arbre sombre devant la surface éclairée du ciel, et qu'après avoir remarqué la hauteur que présentent ces objets à la vision indirecte, on tourne l'œil et la tête directement vers eux : on trouve qu'ils paraissent bien plus bas et que, par contraste avec cette diminution de hauteur, leur largeur se remarque bien plus. Les montagnes situées sur le bord du

champ visuel, paraissent également plus hautes et plus escarpées que lorsqu'on les regarde directement.

D'autre part, qu'on place devant soi une feuille de papier blanc sur un sol obscur ; si le regard est dirigé horizontalement en avant, de manière que le papier se présente au bord inférieur du champ visuel, la feuille paraît plus large transversalement qu'elle n'est en réalité et paraît se rétrécir dès qu'on la regarde directement.

Tandis que les arcs parallèles à la périphérie du champ visuel paraissent ainsi agrandis, les parties périphériques des lignes radiaires paraissent un peu diminuées. — Les hyperboles de la figure 170 sont construites de façon que, l'œil étant à la distance A, les sommets des hyperboles horizontales présentent entre eux une même distance angulaire de 10 degrés. Lors donc que les hyperboles se présentent sous forme de lignes droites, les cases noires et les cases blanches devraient apparaître toutes comme des carrés égaux. Mais c'est ce qui n'a pas lieu : les carrés situés à une grande distance au-dessus et au-dessous de la ligne médiane horizontale paraissent trop bas par rapport à leur largeur. Je trouve, moins distinctement, que les carrés situés à droite et à gauche paraissent peut-être un peu diminués en largeur. Cependant cette comparaison des grandeurs d'objets vus à la vision directe et à la vision indirecte est, en général, très-imparfaite.

C'est pour cette raison qu'aux bords supérieur et inférieur du champ visuel, un disque circulaire de carton, tenu devant un fond d'une couleur qui contraste avec la sienne, présente la forme d'une ellipse à grand diamètre horizontal. Aux bords droit et gauche du champ visuel, ce disque présente moins nettement l'aspect d'une ellipse à grand diamètre vertical.

Comme les parties latérales du champ visuel paraissent un peu trop hautes et trop étroites, nous avons une certaine tendance à les considérer comme plus rapprochées et comme obliques par rapport au champ visuel. Dès qu'on y porte le regard, elles paraissent s'éloigner et se placer plus perpendiculairement à la ligne de regard. C'est là une illusion que je vois très-souvent pour des objets très-éloignés, à l'horizon ou sur le ciel étoilé. Le champ visuel me présente alors une concavité plus grande que celle d'une sphère dont l'œil occuperait le centre ; cependant je ne voudrais pas dire que, pour le regard immobile, le champ visuel monoculaire présente d'une manière un peu nette la forme d'une surface déterminée.

Les principales particularités que nous venons de décrire pour la perception peuvent se résumer dans la représentation géométrique sui-

vante. — Figurons-nous d'abord le champ de regard comme une sphère creuse ayant l'œil à son centre. Imaginons des rayons (lignes de direction de la vision) menés du centre aux différents points objectifs et prolongés jusqu'à la surface sphérique : les points d'intersection de ces rayons avec la surface sphérique forment la projection de l'image de l'objet sur la sphère. Supprimons les objets et ne conservons que leurs images sur la surface sphérique du champ de regard. L'œil fixant le point de regard principal, le point occipital se trouve à l'opposé. Je dis que : Les objets paraissent distribués dans le champ visuel, comme on les verrait en projection géométrique exacte si l'œil était situé au point occipital pour regarder les images de la surface sphérique. Ou bien : l'œil voit les objets du champ visuel comme sur une projection stéréographique tracée à partir du point occipital et regardée de ce point. Ce mode de projection est celui qu'on emploie toujours pour le tracé des mappemondes géographiques.

En effet, les cercles de direction qui paraissent droits dans le champ visuel sont ceux compris dans des plans passant par le point occipital, ils doivent donc se projeter en ligne droite lorsqu'on les regarde de ce point. Les étendues situées tangentiellement le long de la périphérie du champ visuel doivent paraître relativement plus grandes que celles qui leur sont parallèles au milieu du champ, parce que les premières sont plus rapprochées de l'œil. Il faut encore ajouter que le champ visuel de chaque œil qui, considéré géométriquement, occupe 180 degrés environ de droite à gauche, paraît, en réalité, bien plus restreint. En effet, les objets les plus éloignés que nous puissions encore voir à droite et à gauche, dans la vision indirecte, et dont la ligne droite de jonction passe par notre œil, nous paraissent encore situés devant nous, comme si les lignes de direction qui s'y rendent formaient entre elles un angle obtus ou même droit. En particulier, lorsqu'on regarde le ciel de manière à n'avoir, dans le champ visuel, aucun objet de grandeur et de position connues, le champ éclairé qu'on a devant soi paraît présenter, de droite à gauche, l'étendue d'un angle droit environ ; de haut en bas, où les sourcils et les joues diminuent un peu le champ, il paraît encore moindre. On éprouve la même impression que si l'on regardait le monde extérieur à partir d'un point situé à une certaine profondeur dans la tête.

La représentation géométrique que je viens d'esquisser ne doit être considérée que comme une manière de se figurer les choses ; elle comprend les traits principaux de la distribution apparente des objets dans le champ visuel, mais elle ne les exprime pas tous. C'est ainsi qu'elle ne tient pas compte du raccourcissement apparent que subissent, dans le sens radiaire, surtout aux bords inférieur et supérieur du champ visuel,

les parties voisines de la périphérie. Les parties radiaires égales paraîtraient, au contraire, égales dans toutes les parties du champ, puisqu'elles sont mesurées par des angles inscrits égaux, pour l'œil placé au point occipital, de même qu'elles sont mesurées par des angles au centre égaux pour l'œil placé au centre : or, on sait qu'à des angles au centre égaux répondent des angles inscrits égaux.

Cette représentation ne tient pas compte, non plus, des déviations apparentes des méridiens verticaux et du rapport qui existe entre les dimensions verticales et les dimensions horizontales.

Examinons maintenant comment a pu prendre naissance une semblable mensuration du champ visuel.

D'après la *théorie nativistique*, cette mensuration se faisant à l'aide de certaines dispositions organiques congénitales, il serait inutile de chercher une explication dans les phénomènes visuels.

La *théorie empiristique* doit chercher, au contraire, une explication de ce genre. — Nous admettrons que la loi des mouvements de l'œil soit déjà formée, ce qui, comme on l'a vu au paragraphe précédent, peut se faire sans que l'on connaisse la localisation des sensations dans le champ visuel, par suite de la tendance à constater que les modifications qu'éprouvent les sensations, pendant le mouvement de l'œil, dépendent seulement de ce mouvement et non pas de modifications des objets extérieurs. En réalité, ainsi qu'il a déjà été dit, l'estimation oculaire peut se développer partiellement en même temps que la loi des mouvements : l'exercice peut arriver à sa perfection sans que cela se fasse méthodiquement, en passant par les temps successifs nécessités par les besoins de l'exposition. Mais cette remarque n'entraîne pas de modification essentielle.

Au commencement de ce paragraphe, nous avons vu comment les mouvements de l'œil suffisent pour reconnaître dans quel ordre sont disposés les objets et les points rétiniens correspondants qui sont caractérisés par des signes locaux particuliers, les premiers sur la surface du champ visuel, les seconds sur celle de la rétine. Il ne reste plus qu'à expliquer comment s'établit l'évaluation des distances.

Nous avons vu ensuite comment la loi des mouvements des yeux, une fois établie, procure la connaissance de certaines lignes du champ de regard, les lignes *directrices*, qui ont la même direction dans toutes leurs parties et qui peuvent glisser le long d'elles-mêmes.

Quand, après avoir perçu un objet quelconque dans la vision indirecte et en avoir obtenu, par conséquent, sur une partie latérale de la rétine, une certaine impression délimitée, nous dirigeons ensuite le regard

vers cet objet, nous obtenons une seconde impression du même objet avec sa même grandeur apparente, sur le centre de la rétine, et nous pouvons apprendre peu à peu, par l'expérience, à quelle sensation centrale chaque impression périphérique équivaut en qualité et en grandeur. De là vient la possibilité d'apprendre à juger la forme et la grandeur apparente des objets, même par la vision indirecte, en tant que l'exactitude de cette vision périphérique est suffisante.

Mais, outre la grandeur et la forme, on compare aussi la position de l'objet vu d'abord indirectement, puis directement, par rapport à l'objet qu'on avait vu directement d'abord; on remarque quelles sont les lignes des deux objets qui se peignent sur les mêmes méridiens de la rétine. Cette comparaison de la position doit, sans doute, présenter des différences suivant que nous partons de la position primaire ou d'une position secondaire du regard, bien que la loi de Listing, applicable à l'œil normal, rende la somme de ces différences aussi petite que possible. Mais dans la moyenne de tous les cas, la comparaison a lieu comme si le premier objet avait été fixé dans la position moyenne, c'est-à-dire dans la position primaire. On a déjà vu, d'ailleurs, que l'œil affecte le plus souvent la position primaire, comme étant la plus commode et la plus avantageuse pour l'orientation, et que nous cherchons à éviter les mouvements qui nécessitent des rotations autour de la ligne de regard. On comprend donc que nous pouvons apprendre, par l'expérience, quelles sont les directions qui s'accordent, dans les parties latérales du champ visuel, avec les lignes menées par le point de fixation, et cette concordance adoptera pour règle de s'établir de la même manière que lorsque le point de fixation est en même temps le point de regard principal, c'est-à-dire que *tous les éléments d'une seule et même ligne directrice paraîtront avoir, dans le champ visuel, des directions concordantes, et toutes les lignes directrices qui sont tangentes au point occipital d'un seul et même méridien du champ visuel affecteront des directions concordantes.*

Mais cette détermination des lignes qui ont des directions concordantes est en contradiction avec les déterminations de grandeur apparente qu'il faut faire pour comparer les objets vus directement et indirectement. En effet, d'après notre manière de définir les directions concordantes, les lignes qui présentent ces directions ne peuvent pas se rencontrer, car, au point d'intersection, elles ne pourraient pas présenter de directions concordantes. Elles nous paraissent, au contraire, être parallèles et présenter partout la même distance. Mais ceci exige, comme nous l'avons vu plus haut, que les longueurs dirigées suivant la périphérie paraissent relativement trop grandes.

Si, dans ces comparaisons, nous tenons plus compte de la direction des lignes concordantes que de la grandeur des objets, c'est ce qui tient sans doute à ce que, pour les images si confuses et si effacées des parties périphériques, nous reconnaissons encore assez bien et assez exactement les directions des lignes, lorsque la forme et les dimensions de l'objet ne se distinguent plus que d'une manière très-imparfaite. — Lorsqu'on examine une ligne noire déliée, dans des conditions où l'on ne puisse pas accommoder pour cette ligne et où elle se présente sous la forme d'une bande estompée, on ne peut absolument pas apprécier sa largeur, et l'estimation de sa longueur est très-imparfaite, tandis qu'il est encore possible de comparer très-exactement sa direction avec celle d'un fil vu distinctement et qu'on place soit parallèlement au bord de la bande estompée, soit au milieu de cette bande. Or, dans les parties latérales du champ visuel, les images font à peu près la même impression subjective, bien que pour une tout autre cause, que des images très-effacées par suite d'une accommodation imparfaite; il me semble donc naturel d'admettre, et l'expérience paraît le confirmer, que l'appréciation de la direction des lignes qui parcourent ces parages du champ visuel est susceptible de bien plus d'exactitude que celle de la grandeur des objets qui s'y trouvent. Il m'est, du moins, bien plus difficile de trouver la position que je dois prendre pour voir les cases périphériques de la figure 170 affecter la même largeur que les cases centrales, que de chercher à voir s'effacer la courbure des lignes.

Si, aux limites extrêmes du damier, les lignes directrices paraissent encore un peu courbes, c'est ce qui s'explique par cette circonstance qu'en partant de la position primaire on ne peut atteindre ces parties qu'au moyen d'une déviation latérale de l'œil, bien plus forte que celles qu'on exécute ordinairement. Pour pouvoir les atteindre du regard sans effort insolite, il fallait donner à la ligne de regard, lors de la contemplation du centre du disque, une direction vers le côté opposé. Mais, dans cette position, les lignes de direction du champ visuel seraient, en réalité, moins courbes que les hyperboles, dans la partie correspondante de la périphérie,

Dans la partie moyenne du champ visuel, celle que l'on voit distinctement, on peut, à cause de son peu d'étendue, faire abstraction de la courbure de la surface sphérique et des lignes directrices qui s'y trouvent. Dans cette partie du champ visuel, on peut considérer les lignes directrices concordantes comme étant des lignes droites parallèles. Aussi, dans ces régions, la comparaison de la forme, de la grandeur et de la position des objets regardés successivement dans la vision directe et dans la vision indirecte, doit-elle donner des résultats concordants.

Dans cette région, la comparaison exacte entre les étendues vues indirectement et celles qui leur sont parallèles pour la vision directe, peut donc s'établir directement, tandis que les comparaisons de ce genre entre des étendues semblables situées à la périphérie du champ visuel sont très-incertaines et très-défectueuses. Quant aux étendues non concordantes, même au milieu du champ visuel, elles ne peuvent pas être comparées immédiatement : cette opération exige le secours de rotations de la tête ou de l'objet, ce qui entraîne une imperfection bien plus grande que celle qui accompagne la rotation de l'œil seul.

Les faits indiqués plus haut nous apprennent, de plus, qu'on peut aussi comparer avec exactitude et facilité, sous le rapport de la grandeur, les lignes et les angles qui occupent des positions concordantes et qui peuvent être amenés, par conséquent, à coïncider avec les mêmes points rétiniens, tandis que l'évaluation de la grandeur relative de lignes et d'angles dont la position n'est pas concordante, présente une incertitude considérable et est accompagnée de certaines erreurs régulières et constantes. Nous apprenons assurément, jusqu'à un certain point, à comparer des lignes et des angles dont la position ne concorde pas, comme les côtés et les angles d'un carré ou d'un triangle équilatéral; nous nous aidons, soit en faisant tourner les objets devant nous de manière à les voir dans des positions différentes, soit en déplaçant notre tête. Mais ces deux actes ne sont ni aussi fréquents ni aussi régulièrement répétés que les simples mouvements de l'œil; aussi ne sommes-nous exercés que d'une manière très-imparfaite à la comparaison d'objets dont les positions ne concordent pas.

Quand la perception présente des incertitudes, notre jugement est encore facilement induit en erreur par d'autres motifs qui peuvent manifester alors leur influence. Nous verrons que l'illusion relative à la grandeur des angles droits est dans un rapport tout à fait particulier avec la vision binoculaire, et c'est pour cette raison que ses effets sont assez régulièrement les mêmes pour les différentes personnes. Au contraire, l'illusion qui nous fait voir les lignes verticales plus longues que les lignes horizontales présente de très-grandes différences pour des individus différents, et je trouve que, chez moi-même, dans ce cas, le jugement est très-variable et très-incertain. L'illusion dont je parle est peut-être influencée par cette circonstance que la plupart de ces figures par rapport auxquelles nous changeons notre position ou dont nous changeons la position par rapport à nous, afin d'amener successivement sur les mêmes parties de la rétine leurs lignes et leurs angles diversement dirigés, sont des figures tracées sur le sol ou sur des tables planes, qu'elles appartiennent à des objets que nous tenons dans la main,

comme nos livres, dans une position telle que leur extrémité inférieure est plus rapprochée de l'œil que la supérieure. Pourquoi choisissons-nous cette manière de les tenir? C'est ce que nous apprendrons dans l'étude de l'horoptre. Il suffit de remarquer ici que, dans une semblable position, les lignes verticales se présentent effectivement à nous en raccourci, circonstance qui peut nous amener à considérer toujours les lignes tracées dans ce sens comme plus longues qu'elles ne le sont d'après leur grandeur apparente.

On conçoit de plus que lorsqu'on a une fois établi, par une considération quelconque, quel est le méridien qui doit être considéré comme vertical et dans quel rapport de longueur les lignes verticales et horizontales doivent se présenter à nous lorsqu'elles sont égales en réalité, la position apparente de tout autre point du champ visuel est alors également déterminée.

Si nous nous bornons à la partie moyenne du champ visuel, qui peut être considérée approximativement comme plane, nous pouvons nous figurer la position géométrique des points comme donnée par des coordonnées rectangulaires. — Soient *AB* (fig. 171) l'horizontale qui répond à l'horizon rétinien, *CA* une ligne verticale, *A* le point de regard. Supposons que, pour la position apparente dans le champ visuel, *ab* réponde à l'horizon rétinien et *ac* au méridien vertical. Supposons, de plus, que le point *F* du champ visuel géométrique soit éloigné de deux unités de longueur de l'axe *AB* et de trois unités de l'axe *AC*. Portons sur *ab* trois unités de longueur égales à celles de *AB* et, sur *ac*, la ligne *ad* qui *paraît* égale à deux unités de longueur de *AC*; complétant le parallélogramme *abdf*, le point *f* est la position apparente de *F*; en effet, par construction, tous les éléments linéaires et tous les angles des deux figures doivent paraître respectivement égaux.

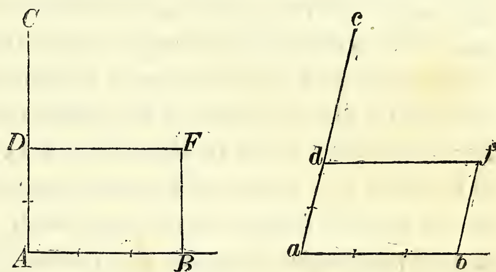


Fig. 171.

Ainsi, d'après la théorie exposée et qui est confirmée par les faits, dans la partie moyenne du champ visuel, celle qui est vue distinctement et que nous pouvons considérer comme plane, la position apparente des points peut se déduire de leur position géométrique, en reportant les points d'un système de coordonnées rectangulaires dans un système oblique, dont les axes comportent des rapports différents.

Cependant, ainsi qu'il résulte de propositions connues de la géométrie analytique, on peut toujours trouver alors la position d'un système rectangulaire tel qu'il suffise, pour faire la transformation, de diminuer ou d'allonger, dans un rapport donné, les coordonnées parallèles à l'un des axes. Nous avons déjà indiqué plus haut les angles et les rapports d'axes qui doivent servir de base à ces transformations.

Je dois encore faire remarquer ici que les faits décrits sont en contradiction avec deux autres théories qui ont été établies sur la mensuration du champ visuel. — Un certain nombre de physiologistes ont accepté l'hypothèse de J. Müller d'après laquelle la rétine aurait la faculté de percevoir ses propres dimensions. S'il en était ainsi, au lieu de paraître trop grandes, les directions tangentielles voisines de la périphérie du champ visuel paraîtraient, au contraire, trop petites, puisque, comme on le voit sur la coupe de l'œil (pl. I, fig. 1), la rétine devient bien plus étroite vers son bord antérieur, près de l'*ora serrata* gg, qu'une demi-sphère décrite autour du point nodal. Il n'est pas facile de dire ce que deviennent, dans cette hypothèse, les dimensions radiales, car on ne peut déterminer exactement ni la réfraction subie par les rayons qui arrivent sous une incidence aussi oblique par rapport à l'axe, ni la position d'une image rétinienne aussi périphérique.

Une seconde hypothèse, qui a été employée pour expliquer la mensuration du champ visuel, a été déduite, par plusieurs physiologistes, des expériences de E. H. Weber sur les cercles sensitifs de la peau et de la rétine (1), mais en s'écartant beaucoup, ce me semble, des idées de cet auteur. D'après cette hypothèse, on prendrait pour unité de mesure pour les surfaces, les plus petites étendues perceptibles. Comme nous l'avons déjà vu page 291, on ne peut percevoir deux impressions comme distinctes dans l'espace que lorsqu'on perçoit, entre deux éléments de surface excités, la présence d'un troisième élément qui ne le soit pas du tout ou qui le soit d'une manière différente. La grandeur des plus petits éléments superficiels perceptibles, comme Aubert et Förster l'ont démontré après Weber, est très-différente pour les différentes parties de la rétine, comme pour les différentes parties de la peau, de sorte que, pour distinguer la présence séparée de deux points, il faut donner aux points excités une distance variable avec la région sensible à laquelle on s'adresse. Ainsi lorsqu'on applique les pointes d'un compas sur une partie de la peau où leur distance est inférieure à la plus petite

(1) E. H. Weber, Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge, in *Berichte der Sächs. Ges.*, 1852, p. 85-164.

distance perceptible, leurs impressions se confondent et l'on ne croit être touché que par une seule pointe; si on les applique sur une partie où l'on ne distingue leur existence séparée que d'une manière confuse, on est incontestablement amené à les croire plus rapprochées qu'elles ne le sont en réalité; si on les applique, enfin, sur des parties où la distinction est plus délicate, où l'on reconnaît facilement qu'elles sont séparées, on évalue, ce me semble, exactement la distance qui les sépare en réalité. C'est ainsi que les pointes d'un compas qui sont séparées, par exemple, de 4 lignes, me paraissent présenter le même intervalle à la pointe de la langue, au bout des doigts ainsi qu'aux lèvres, bien qu'on distingue une distance d'une 1/2 ligne au bout de la langue, une distance de 1 ligne seulement au bout des doigts et de 2 lignes aux lèvres. Par contre, au menton et au-dessous du menton, endroit où la distinction de pointes écartées de 4^{mm} devient difficile et incertaine, les pointes qui présentent cet écartement me paraissent, lorsque je les distingue, un peu plus rapprochées qu'elles ne le sont réellement, suivant la loi générale de la sensibilité d'après laquelle les différences nettement perceptibles paraissent plus grandes que celles qu'on ne perçoit qu'indistinctement. Cependant lorsque je les applique au cou, tant que je puis encore les reconnaître comme distinctes, elles ne me font jamais l'effet d'être aussi rapprochées que lorsqu'elles sont appliquées à la pointe de la langue avec un écartement d'une demi-ligne ou d'une ligne. Ainsi, les plus petites distances perceptibles ne paraissent pas du tout égales sur les différentes parties de la peau; elles présentent, au contraire, de très-grandes différences.

Il en est de même sur la rétine. Lorsque j'examine, à la vision indirecte, deux petits cercles noirs de 2^{mm} de diamètre et dont la distance est également de 2^{mm}, si je cherche une position où ils commencent à me paraître visibles, ils ne me paraissent alors aucunement plus rapprochés qu'ils ne sont réellement et, en tout cas, ils sont bien loin de paraître aussi voisins que deux points fixés avec le centre de la rétine et dont la distance soit à la limite de la perceptibilité distinctive.

Je crois donc que c'est donner une extension vicieuse à la théorie de Weber sur les cercles sensitifs, que de vouloir attribuer à ces cercles une grandeur apparente invariable et de prendre cette grandeur pour unité de mesure dans l'espace. Une semblable hypothèse exigerait, pour l'œil, que la périphérie tout entière du champ visuel parût relativement bien plus petite, dans toutes ses dimensions, que les objets qui présenteraient la même grandeur angulaire au milieu du champ visuel. Nous avons vu, au contraire, que les directions tangentielles paraissent augmentées; les directions radiales paraissent, il est vrai, un peu

diminuées, du moins aux bords supérieur et inférieur du champ visuel.

Les cercles sensitifs, ainsi qu'on l'a vu plus haut, sont employés dans la mensuration de très-petites distances, pour la détermination desquelles l'évaluation développée par les mouvements de l'œil ne présente pas assez d'exactitude; cela n'est aucunement en contradiction avec ce qui précède. Nous reviendrons, d'ailleurs, sur ces questions, à l'occasion des phénomènes de la tache aveugle.

Outre les illusions générales que nous venons de décrire au sujet des proportions du champ visuel, illusions qui dépendent de la loi des mouvements de l'œil et de la manière dont nous apprenons à connaître notre champ visuel, il existe encore une série d'illusions qui dépendent de propriétés particulières aux figures que nous examinons et qui sont également intéressantes parce qu'elles nous indiquent plus ou moins nettement les bases sur lesquelles nous nous appuyons pour apprécier les grandeurs et les formes dans le champ visuel.

On peut ramener la plupart des phénomènes que nous allons examiner à la loi que nous avons établie pour les phénomènes du contraste et d'après laquelle, dans les perceptions sensuelles, toutes les différences nettement perceptibles paraissent plus grandes que des différences égales à celles-là, mais plus difficiles à percevoir. — La première conséquence de cette loi c'est qu'une dimension divisée nous paraît volontiers plus considérable que lorsqu'elle n'est pas divisée; en effet, la perception directe des parties nous fait reconnaître le nombre et la grandeur des subdivisions dont la quantité est susceptible mieux que lorsque ces parties ne sont pas nettement délimitées. C'est ainsi que, dans la figure 172, on considère facilement la longueur *ab* comme égale à *bc*, bien que *ab* soit, en réalité, plus grand que *bc*. A. Kundt (1) a exécuté une série de mensurations au sujet de ce genre d'illusions. Il regardait cinq pointes d'acier, *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, visibles au-dessus d'un écran, de manière qu'on eût $AB = 20^{mm},2$, $BC = 40^{mm},2$, $AE = 241^{mm},9$. On plaçait, à vue d'œil, la pointe *D* au milieu de *AE*. Si elle avait réellement été au milieu, la distance *CD* aurait été de $60^{mm},55$. Mais la moyenne de 120 expériences d'un même observateur donnait cette distance égale à $57^{mm},87$, de sorte que le milieu apparent était à $2^{mm},68$ du milieu réel, et plus voisin des pointes *A*, *B* et *C*. La



FIG. 172.

(1) *Pogg. Ann.*, CXX, p. 118.

moyenne de 120 expériences d'un autre observateur donna 3^{mm},95, pour ce même écart. Dans tous les cas, la pointe D était à 338^{mm} du point nodal de l'œil.

Il est à remarquer que, dans ces expériences, l'œil droit tendait à agrandir la moitié droite d'une distance à diviser en deux parties égales, et que l'œil gauche tendait à faire trop grande la moitié gauche. Le premier observateur fit une différence de 2^{mm},24 en faveur de la moitié correspondant à l'œil dont il se servait, et le second, une différence de 4^{mm},77.

Dans toutes ces expériences, on comparait des distances susceptibles de coïncider avec les mêmes points rétiniens. — Les illusions deviennent bien plus frappantes lorsque les distances à comparer possèdent des directions différentes.

Qu'on regarde A et B (fig. 173). Ces deux surfaces sont des carrés parfaits. D'après l'illusion décrite plus haut, tous les deux devraient paraître plus hauts que larges. C'est ce qui a lieu, d'une manière exagérée, pour A, tandis que B paraît, au contraire, trop large.



FIG. 173.

Il en est de même pour les angles : — qu'on regarde la figure 174. Les angles 1, 2, 3, 4 sont droits et devraient paraître tels lorsqu'on les examine avec les deux yeux. Mais 1 et 2 paraissent aigus ; 3 et 4 paraissent obtus. L'illusion devient encore plus marquée lorsqu'on ne regarde la figure qu'avec l'œil droit; lorsqu'on la regarde, au contraire, avec l'œil gauche, 1 et 2 devraient paraître obtus, à cause de la déviation du méridien vertical que nous avons mentionnée plus haut; mais ils paraissent à peu près droits, comme ils le sont en réalité. Si l'on fait tourner la figure de manière que 2 et 3 soient dirigés en bas, 1 et 2 paraissent, au contraire, exagérément aigus à l'œil gauche et dans leur dimension véritable à l'œil droit. Les angles divisés paraissent donc toujours relativement plus grands qu'ils ne paraîtraient sans division.

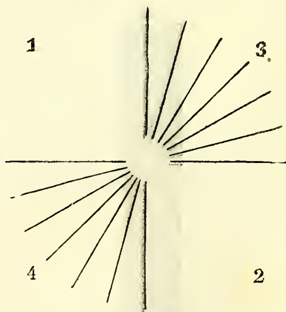


FIG. 174.

La figure 175 présente deux triangles équilatéraux ; A, qui est divisé horizontalement, paraît beaucoup trop haut, comme il le serait aussi sans les lignes ; dans B, au contraire, celui des angles de la base qui

est à droite paraît plus grand que celui du côté gauche, et le sommet du triangle paraît dévié à droite. La même influence se présente dans un grand nombre d'exemples connus de la vie journalière. Une chambre vide paraît plus petite qu'une chambre meublée; un mur recouvert d'une tenture paraît plus grand qu'un mur nu. Une jupe rayée en travers fait paraître une femme relativement plus grande. Un amusement de société bien connu consiste à présenter à quelqu'un un chapeau, en lui disant d'en marquer la hauteur sur le mur, à partir du sol. En général, on indique une hauteur une fois et demie trop grande.



Fig. 175.

Citons ici un fait observé par Bravais (1). Voici ce qu'il dit : Lorsqu'on est en mer, à certaine distance d'une côte qui présente de grandes inégalités de terrain, et qu'on dessine cette côte telle qu'elle se présente à l'œil, après vérification faite, on trouve que les dimensions horizontales ayant été figurées correctement à une certaine échelle, les distances angulaires verticales ont été uniformément représentées à une échelle deux fois plus grande. Cette illusion, à laquelle on n'échappe pas dans les appréciations de ce genre, n'est pas individuelle, comme on pourrait le croire; sa généralité est démontrée par de nombreuses observations.

Il faut ajouter, dans le même ordre de faits, différentes illusions d'optique qu'on a fait connaître dans ces derniers temps.

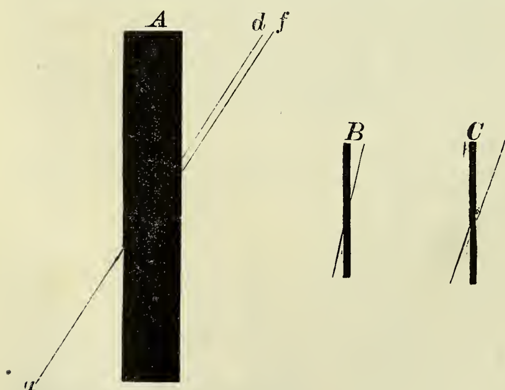


Fig. 176.

Qu'on examine la figure 176 *A*. Le prolongement de la ligne *a* ne paraît pas être *d*, conformément à la réalité, mais *f*, qui est un peu plus bas. — Cette illusion est encore plus frappante lorsqu'on fait la figure à une échelle plus petite, comme en *B*, où les deux portions minces sont sur le prolongement l'une de l'autre, mais ne paraissent pas y être, et en *C* où elles le paraissent, mais ne le

(1) *Fechner's Centralblatt*, 374-379; 558-561.

sont pas en réalité. Si l'on dessine des figures comme *A*, en laissant de côté la portion *d*, et qu'on les regarde à une distance de plus en plus grande, de manière qu'elles présentent une grandeur apparente de plus en plus faible, on trouve que plus la figure est éloignée, plus il faut baisser la portion *f* pour qu'elle paraisse être le prolongement de *a*.

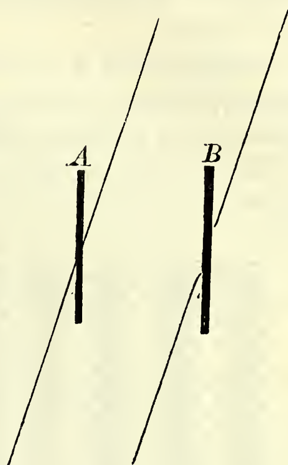


Fig. 177.

Si l'on allonge les lignes minces, comme dans la figure 177 *A*, on remarque que, près de la ligne noire épaisse, elles présentent une courbure que j'ai un peu exagérée en *B*; de telle sorte que tout en considérant les extrémités les plus éloignées de la ligne mince comme formant le prolongement l'une de l'autre, on est seulement amené à croire qu'elles ne se rencontrent pas, à cause des courbures qu'elles présentent près de leur intersection avec la ligne épaisse.

Ce sont là précisément les phénomènes que l'irradiation doit produire dans ce cas, et il est difficile de distinguer ce qui appartient à cette cause et ce qui résulte des phénomènes que nous avons déjà mentionnées en partie et de ceux dont nous avons encore à parler au sujet des illusions suivantes. On a déjà vu plus haut (p. 430-432) que l'irradiation peut également se produire pour des lignes noires sur fond blanc. Près du sommet des deux angles aigus, les cercles de diffusion des deux

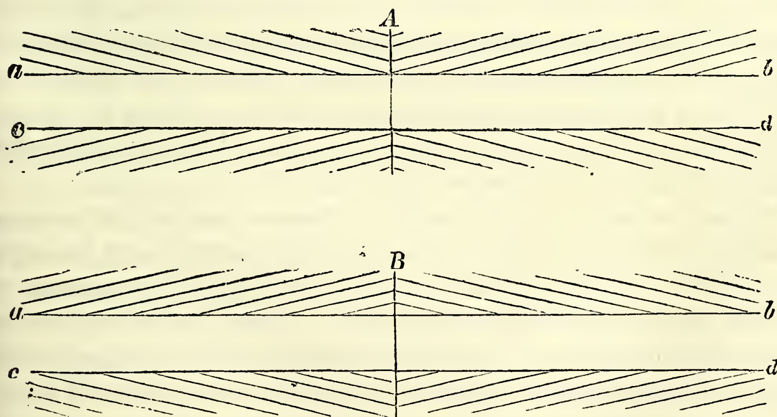


Fig. 178.

lignes noires se touchent et se renforcent mutuellement; par suite, l'image rétinienne de la ligne mince présente son maximum d'obscurité

plus près de la bande large et paraît déviée de ce côté. Cependant pour les figures de ce genre qui sont exécutées sur une plus grande échelle, comme la figure 176 *A*, l'irradiation ne peut guère être la seule cause de l'illusion.

La figure 178 *A* et *B* (p. 723) présente des exemples indiqués par Hering; les lignes droites et parallèles *ab* et *cd* paraissent déviées en dehors en *A* et en dedans en *B*.

Mais l'exemple le plus frappant est celui représenté par la figure 179 et publié par Zöllner. — Les bandes noires verticales de cette figure sont parallèles entre elles, mais elles paraissent convergentes et divergentes, de manière à sembler toujours s'écarter de la direction verticale, suivant une direction inverse de celle des obliques qui les coupent. En même temps, les moitiés des traits obliques sont déplacées respectivement comme les moitiés des lignes minces de la fig. 176. Si l'on tourne la figure de manière que les fortes lignes verticales présentent une inclinaison de 45° par rapport à l'horizon, la convergence apparente devient plus frappante, tandis qu'on remarque moins la déviation apparente des moitiés des petits traits, qui sont alors horizontaux et verticaux. Ainsi, en somme, la direction des lignes verticales et horizontales est moins modifiée que celle des lignes qui traversent obliquement le champ visuel.

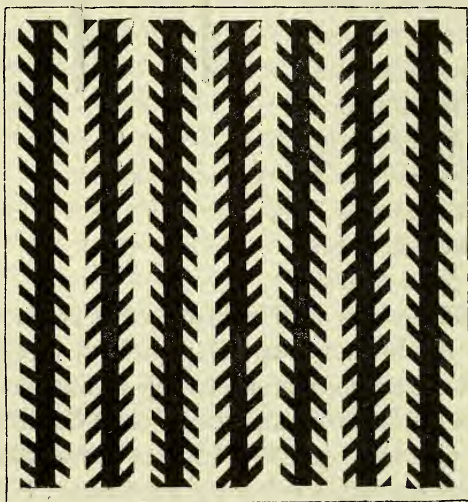


Fig. 179.

On peut considérer ces dernières illusions comme de nouveaux exemples de la règle indiquée plus haut et d'après laquelle les angles aigus, étant de petites grandeurs nettement limitées, paraissent, en général, relativement trop grands lorsque nous les comparons avec des angles obtus ou droits, non divisés. Or si l'augmentation apparente d'un angle aigu se fait de telle manière que les deux côtés paraissent s'écarter, il doit se produire les illusions des figures 176, 178 et 179. Dans la figure 176, les lignes minces paraîtraient tourner autour du point où elles pénètrent dans la ligne épaisse et cesseraient, par suite, de paraître sur le prolongement l'une de l'autre. Dans la figure 178, les deux moitiés

de chacune des deux lignes droites paraissent déviées tout du long de telle façon que les angles aigus qu'elles forment avec les lignes obliques semblent agrandis. La même chose paraît avoir lieu pour les lignes verticales de la figure 179.

Cependant, dans les cas des figures 178 et 179, la cause indiquée ne participe, dans les circonstances ordinaires, que pour une faible part à l'effet produit ; la plus grande part de l'effet provient, suivant moi, de mouvements de l'œil. En effet, les illusions en question disparaissent complétement, ou peu s'en faut, lorsque je fixe un point des dessins comme pour développer une image accidentelle, et quand on obtient une image accidentelle bien nette, ce qui est possible notamment pour le dessin de Zöllner (fig. 179), cette image ne présente plus aucune trace de l'illusion.

Dans la figure 176, le déplacement du regard n'exerce pas d'influence bien prononcée sur le renforcement de l'illusion ; celle-ci disparaît, au contraire, lorsque je parcours du regard la ligne mince *ad*. En revanche, la fixation fait disparaître l'illusion avec une facilité relative pour la figure 178, plus difficilement pour la figure 179. Cependant je puis également la surmonter pour cette dernière figure, lorsque je fixe invariablement et qu'au lieu de considérer le dessin comme formé de lignes noires sur fond blanc, je m'efforce de me figurer qu'il s'agit de lignes blanches barbelées tracées sur fond noir : aussitôt l'illusion s'évanouit. Mais si je recommence à promener le regard sur le dessin, l'illusion reparaît aussitôt dans toute sa force.

On réussit également à éviter complétement ou presque complétement l'illusion que produisent ces dessins en les recouvrant préalablement d'un papier opaque sur lequel on appuie la pointe d'une épingle ; sans cesser de regarder fixement la pointe, on retire brusquement le papier. On peut juger si la fixation a été bonne, d'après la netteté de l'image accidentelle qui se forme consécutivement à l'expérience.

L'éclairage à l'étincelle électrique fournit le moyen le plus sûr et le plus facile de se mettre en garde contre l'influence des mouvements des yeux ; en effet, l'œil ne peut pas exécuter de mouvement sensible pendant la durée si faible de cette étincelle. — A cet effet, je me sers d'une boîte de bois *ABCD* (fig. 180, p. 726), noircie à l'intérieur. Deux trous (1) étaient pratiqués, à la distance des deux yeux, les uns en *f*, dans la paroi antérieure, et les autres en *g*, dans la paroi postérieure de la boîte. L'observateur regardait par les trous *b*, et devant les trous *g*, on fixait

(1) Il faut deux trous à chaque paroi parce que l'appareil doit aussi servir à des expériences stéréoscopiques.

les dessins ; ceux-ci étaient percés d'un trou d'épingle qui pouvait être vu et fixé en l'absence de l'étincelle électrique, lorsque la boîte était complétement obscure. La boîte est ouverte à sa base, qui repose sur la table *BD*; lorsqu'on veut changer les dessins, on soulève la boîte et l'on y passe la main. La chambre où l'on se tenait était assombrie autant que cela se pouvait sans empêcher l'observateur de voir et de manier les appareils électriques : regardant dans la boîte, on n'apercevait plus que les trous d'épingle. Les fils conducteurs de l'électricité sont *h* et *i*, l'interruption est en *k*; en *l* est une bande de carton, blanche du côté qui fait face à l'étincelle, dont elle cache la lumière à l'œil observateur pour la renvoyer sur le dessin. Les étincelles étaient fournies par la spirale secondaire d'un grand appareil d'induction de Ruhmkorff, laquelle était en communication avec les armatures d'une bouteille de Leyde. L'observateur produisait à la main la fermeture ou l'interruption de la spirale primaire (1).

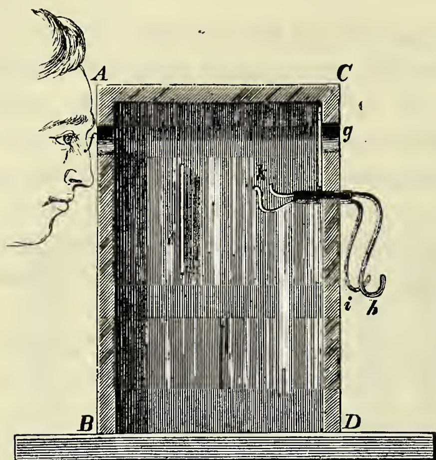


Fig. 180.

A l'éclairage électrique, l'illusion persistait en entier pour la figure 176, tandis qu'elle cessait complétement pour les dessins de la figure 178 ; pour la figure 179, elle ne manquait pas toujours complétement, mais lorsqu'elle se présentait, elle était bien plus faible et plus douteuse qu'ordinairement, et cependant l'éclairage à l'étincelle électrique était parfaitement suffisant pour reconnaître distinctement la forme des objets considérés.

Nous avons donc à expliquer deux phénomènes différents ; d'abord la faible illusion qui peut se produire sans l'intervention des mouvements de l'œil, et, en second lieu, l'accroissement de l'illusion par suite de ces mouvements. — Quant au premier point, on trouve, à mon avis, une explication suffisante dans la loi du contraste, d'après laquelle une différence paraît plus grande lorsqu'elle est nettement perceptible que

(1) A défaut d'appareil électrique assez fort, on peut se servir du *Tachistoscope* construit par Volkmann (*Leipziger Sitzungsber.*, 1850, p. 90-98) et dans lequel une trappe, qu'on laisse tomber, ouvre, pour un moment, l'une des ouvertures par lesquelles regarde l'observateur, ou toutes les deux ensemble.

lorsqu'elle l'est moins. Ce qu'on perçoit le plus distinctement à la vision indirecte, c'est la concordance des directions des dimensions de même espèce. On perçoit plus distinctement la différence de direction que présentent, à leur intersection, les deux côtés d'un angle aigu ou obtus, que l'écartement qui existe entre l'un des côtés et la perpendiculaire qu'on suppose menée sur l'autre, et qui n'est pas figurée. Par suite, la quantité dont un angle diffère de 0° ou de 180° paraît exagérée par rapport à celle dont il diffère de 90° : un angle aigu paraît donc plus grand, et un angle obtus plus petit qu'ils ne sont en réalité. C'est en se distribuant sur les deux côtés que l'agrandissement apparent des angles donne lieu aux déplacements et changements de direction des côtés. On corrige difficilement les déplacements apparents des lignes lorsqu'elles restent parallèles à leur direction véritable ; c'est pour cette raison que l'illusion de la figure 176 est relativement la plus tenace. Les changements de direction se reconnaissent, au contraire, avec plus de facilité si l'on examine la figure avec attention, lorsque ces changements ont pour effet de faire disparaître la concordance de lignes qui concordent en réalité ; ce n'est guère, sans doute, qu'à cause de la différence d'aspect que les nombreuses obliques communiquent aux lignes concordantes des figures 178 et 179, que la concordance de ces lignes peut échapper à l'observateur.

Il nous reste à rechercher quelle est l'influence exercée par le mouvement sur la direction apparente des lignes. On voit, par des expériences simples, que cette influence s'excerce même pour des lignes droites isolées, lorsque la direction du mouvement fait un angle aigu avec celle de la ligne. Comme nous avons une disposition particulière à suivre, pendant les mouvements de notre œil, la direction des lignes les plus saillantes du champ visuel, il est nécessaire, dans ces expériences, pour promener le point de regard de la manière désirée, de se servir d'une pointe que l'on fixe d'une manière constante et que l'on fait glisser sur le dessin.

Traçons sur un papier une longue ligne droite A, et déplaçons la pointe que nous fixons, suivant la direction d'une seconde ligne droite B qui coupe la première sous un angle très-aigu. Il est inutile de dessiner la seconde ligne ; cependant il n'y a pas d'inconvénient à le faire. Si l'on suit du regard le mouvement de la pointe, la ligne droite A paraît exécuter, sur le papier, un mouvement qui la rapproche ou l'éloigne de la pointe, suivant que la pointe se rapproche ou s'éloigne de cette ligne. L'image de la ligne A se déplace sur la rétine, tant parallèlement à elle-même que transversalement. Le premier de ces mouvements échappe plus ou moins complétement lorsque la ligne est longue et ne

présente pas de points de repère nettement dessinés ; on n'en remarque que plus nettement le second mouvement, celui perpendiculaire à la longueur.

La direction de la ligne *A* paraît aussi se modifier, et cela de manière à exagérer l'angle qu'elle forme avec la ligne *B* sur laquelle se déplace la pointe. C'est ce qu'on reconnaît le mieux lorsqu'on trace une ligne droite *ab* (fig. 181), et qu'on pose sur le papier l'une des pointes d'un compas, de manière à faire décrire à l'autre l'arc *cde*. Si l'on suit alors

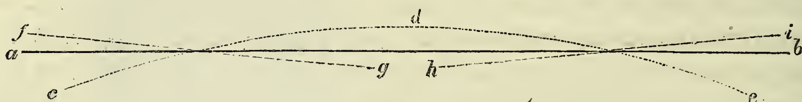


Fig. 181.

du regard le mouvement de cette seconde pointe, la ligne *ab* paraît descendre tant que la pointe va de *c* en *d*, et monter quand la pointe va de *d* en *e*. En même temps, toute la ligne *ab* paraît prendre une direction semblable à celle de *fg*, tant que le regard de l'observateur longe *cd*, et une direction semblable à *hi*, lorsque le regard va de *d* en *e*. Au moment où le regard passe par le sommet *d* de l'arc *ce*, on voit distinctement la ligne *ab* changer de direction.

Si l'on promène une pointe d'épingle horizontalement de droite à gauche au-dessus du dessin de Zöllner et qu'on la suive du regard, la figure affecte un mouvement étrange : la première, la troisième et la cinquième bande noire paraissent monter ; la deuxième, la quatrième et la sixième paraissent descendre, — ou inversement, si la pointe marche de gauche à droite. Les bandes qui montent ne semblent pas parallèles à celles qui descendent ; elles paraissent présenter des obliquités contraires les unes par rapport aux autres et aussi par rapport au plan du dessin ; les extrémités supérieures des bandes montantes s'inclinent vers le côté d'où vient la pointe, et les extrémités supérieures des bandes descendantes s'inclinent dans le sens de cette direction : on voit que ce mouvement apparent exagère d'une façon tout à fait remarquable l'illusion qui est particulière au dessin de Zöllner.

Pour voir bien distinctement le mouvement apparent, il faut donner à la pointe une certaine vitesse moyenne qui ne soit ni trop grande ni trop petite, et y attacher très-fixement le regard. Lorsqu'on n'y parvient pas immédiatement, on peut aussi tenir la pointe immobile et déplacer le dessin sans cesser de fixer la pointe. La cause du mouvement apparent est évidemment la même que dans l'expérience, déjà vue, de la ligne droite unique. Nous nous rapprochons des traits obliques suivant une direction inclinée, ce qui leur communique un mouvement apparent

dans lequel ils paraissent entraîner les bandes noires verticales avec lesquelles ils font corps. Si donc la bande noire verticale, dont nous nous rapprochons, présente un mouvement ascendant, c'est là un phénomène analogue à celui que nous verrions si, au lieu de nous en rapprocher suivant une direction perpendiculaire, nous nous en rapprochions sous un angle aigu dont le sommet se dirige en bas; réciproquement, pour les bandes descendantes, le mouvement apparent est le même que si nous nous en rapprochions sous un angle aigu dont le sommet regarde en haut. Mais comme la direction du mouvement réel de notre regard est la même pour toutes les bandes, ces bandes paraissent s'incliner par rapport à la ligne que suit le regard, l'extrémité supérieure des bandes ascendantes marchant à la rencontre de ce mouvement, celle des lignes descendantes paraissant au contraire le suivre, le tout conformément à la figure 182, où *ab* désigne la direction suivie par le regard, *cc*, *dd*, *ee*, *ff*, la position apparente des bandes verticales, avec une divergence exagérée; les flèches qui sont à côté de ces lignes indiquent la direction qu'affecterait le mouvement apparent de lignes ainsi disposées, le regard se déplaçant dans le sens de la flèche horizontale.

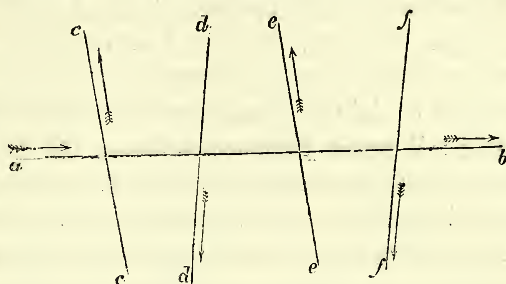


FIG. 182.

Lorsqu'on ralentit peu à peu le mouvement de la pointe que suit l'œil, le mouvement apparent devient plus lent, passe plus facilement inaperçu, mais peut être reconnu avec un peu d'attention; je trouve, en même temps, que la divergence apparente des lignes verticales devient moins accentuée. Le mouvement apparent et la divergence apparente des bandes se manifestent d'une manière bien plus belle avec l'aide d'une pointe conductrice, sans doute parce que, sans ce secours, nous ne pouvons pas promener le regard d'une manière aussi uniforme et aussi rectiligne sur un dessin qui présente des systèmes de lignes si saillantes. Comme, du reste, l'illusion relative à la direction des lignes croît et décroît en même temps que celle causée par leur mouvement, je ne doute pas que l'augmentation de l'illusion qui accompagne les mouvements ordinaires du regard ne reconnaisse la même cause.

Lorsqu'on promène l'épingle parallèlement aux lignes verticales, non-seulement l'illusion n'augmente pas, mais elle s'affaiblit ou disparaît même complétement. Les bandes verticales se reconnaissent alors

comme étant des lignes directrices parallèles dans le champ de regard, à ce que leurs images rétiniennes se déplacent suivant elles-mêmes.

On peut, du reste, démontrer de même sur un corps réellement mobile l'influence exercée par le mouvement apparent des bandes verticales sur la grandeur apparente de l'angle compris entre ces bandes et la ligne sur laquelle se déplace le regard. — Plaçons horizontalement sur une feuille de papier, une règle divisée ; à côté de l'arête divisée, appliquons l'une des pointes d'un compas largement ouvert et donnons à l'autre pointe un mouvement de va-et-vient au-dessus de cette arête : le mouvement ainsi produit est dirigé exactement suivant la normale à la règle. Donnons, de plus, à la règle elle-même, un mouvement de va-et-vient suivant sa propre direction ; le mouvement de la pointe de compas est loin de paraître rester perpendiculaire à la direction de la règle : il paraît fortement oblique, tel qu'il paraîtrait, en effet, dans un système de coordonnées fixé à l'instrument, tandis que, dans un système immobile, ce mouvement reste perpendiculaire au bord de la règle. La modification de l'angle est, du reste, bien plus considérable dans ce cas que dans la figure de Zöllner ; en effet, dans cette figure, le changement apparent de position ne peut jamais aller assez loin pour que les bandes déviées puissent se toucher ou même se croiser, ce qui serait trop en contradiction avec l'image de la vision indirecte.

Les exemples de Hering (fig. 178, p. 723) présentent les mêmes circonstances, mais à un degré moins remarquable. L'illusion y est augmentée par les mouvements verticaux du regard et diminuée par les mouvements transversaux.

On trouvera peut-être étonnant que je fasse dériver les mêmes illusions de deux causes aussi différentes en apparence. Mais si l'on se rappelle que, dans mon opinion, la connaissance des mensurations du champ visuel dans la vision indirecte repose sur des expériences faites préalablement à l'aide de mouvements, et que les mouvements actuels du regard sont accompagnés de nouvelles impressions analogues, on voit que les deux causes ne sont pas aussi différentes qu'elles peuvent le paraître dans l'exposition ; elles ne diffèrent que comme le souvenir et l'aspect actuel de circonstances analogues.

Ces circonstances donnent lieu, pour les directions des lignes et pour les distances, à une sorte de *contraste* dont l'effet est analogue à celui du contraste que nous avons étudié au paragraphe 24, au sujet des intensités lumineuses et des couleurs. Les différences entre des directions à peu près semblables paraissent augmentées ; en coupant une ligne par un ou plusieurs traits obliques, on la fait paraître s'incliner en sens inverse de ces traits. L'hypothèse de Th. Young permettait de

ramener les phénomènes de contraste des intensités lumineuses et des couleurs à la comparaison d'excitations différentes quantitativement, mais qualitativement égales. Si l'on se représentait les signes locaux des fibres rétiniennes comme étant les sensations de deux qualités répondant à deux directions quelconques de coordonnées et dont l'intensité varierait d'une manière continue dans la surface, on pourrait ramener les contrastes des directions aux mêmes particularités de la distinction des intensités de la sensation que le contraste des couleurs. Mais comme il a été donné de ramener l'influence des mouvements de l'œil à des phénomènes directement visibles, nous pouvons laisser préalablement de côté une pareille hypothèse. Du reste, en décrivant l'illusion produite par le dessin de la figure 179, Zöllner a également cherché à la ramener à des mouvements de l'œil. — L'explication donnée par E. Hering me paraît, au contraire, absolument inadmissible. Il croit que nous jugeons la distance de deux points d'après la distance rectiligne de leurs images rétiniennes. Conformément à cette hypothèse, les petites distances devraient paraître, en général, relativement plus grandes que les grandes distances non divisées, parce que, pour de petits arcs, la différence entre l'arc et la corde est relativement moindre que pour de grands arcs. Pour le même motif, de petits angles doivent paraître relativement trop grands, par comparaison avec des angles adjacents d'ouverture plus considérable. C'est sur le même principe que A. Kundt a cherché à fonder une théorie plus complète de ces phénomènes, et pour l'appuyer, il a fait des mensurations (1) de la manière indiquée plus haut, en cherchant, à vue d'œil, à rendre des lignes non divisées égales à des lignes divisées. Pour une certaine longueur des lignes, l'observation s'accorde assez bien avec le calcul, mais, pour les lignes les moins longues, la différence est presque deux fois aussi grande qu'elle devrait l'être d'après le principe établi pour l'explication. En effet, M. Kundt trouve

ANGLE VISUEL POUR LES DISTANCES A COMPARER.		ERREUR	
		OBSERVÉE.	CALCULÉE.
I.	20° 14′	4,40	4,62
II.	19° 41′	3,31	4,47
III.	12° 47′	1,48	0,84

(1) *Pogg. Ann.*, 1863, CXX, 118-158.

Je dois ajouter que, pour des figures bien plus petites, les illusions persistent également et cela jusqu'à ce que les objets se rapprochent des limites de la vision distincte; or, pour des objets aussi petits, la différence entre l'arc et la corde est certainement insensible. Kundt lui-même a trouvé que sa figure 4, par exemple, présentait l'illusion jusqu'à une distance de 9 pieds, distance où la différence entre la corde et l'arc considérés ne porte même pas sur la cinquième décimale.

Je crois donc pouvoir dire que le principe appliqué par Hering et par Kundt ne donne même pas une expression exacte des faits. Si l'on voulait aller jusqu'à le considérer comme donnant la cause véritable des phénomènes, il faudrait étendre les hypothèses de la théorie nativistique jusqu'à admettre que nous avons une connaissance innée, non-seulement de la disposition des points sensibles de notre rétine, mais encore de la courbure de sa surface.

Il faut encore mentionner que, dans un grand nombre de cas, la vision binoculaire est un obstacle à la comparaison des distances dans le champ de vision. Cela tient à ce que notre vision naturelle s'applique aux corps et que l'exercice de tous les instants a pour effet de nous mettre à même de juger exactement des dimensions et de la position des corps. Je puis reconnaître avec une grande certitude si mon index est plus gros ou plus mince qu'un tuyau à gaz situé à l'extrémité de la chambre, bien qu'il y ait une différence énorme entre les grandeurs apparentes de ces deux corps. Au contraire, lorsque je tiens mon doigt à une certaine distance de l'œil, je suis très-incertain pour reconnaître s'il présente la même grandeur apparente qu'un livre placé à l'extrémité de la chambre, ou, par exemple, que la lune, tant que je ne rapproche pas l'un de l'autre, dans le champ de vision, les objets à comparer. Je trouve, au contraire, que j'ai une grande tendance à regarder l'angle visuel sous lequel se présente le doigt comme bien plus petit que ceux relatifs au livre ou à la lune, tant que je n'amène pas ces objets au contact dans le champ de vision, ou que je ne les amène pas à s'y superposer.

Je crois devoir également rapporter à la même cause la tendance que nous avons, d'après les expériences de Kundt, lorsque nous cherchons à partager une ligne horizontale en deux parties égales, à faire trop grande la moitié droite, en faisant usage de l'œil droit, et la moitié gauche, pour l'œil gauche. Pour une ligne de 100^{mm} de longueur, vue à une distance de 226^{mm}, d'après la moyenne de 40 observations, l'œil gauche plaçait le milieu à $50^{mm},33$ de l'extrémité gauche, et l'œil droit à $49^{mm},845$ seulement de cette extrémité. Ces différences de $0^{mm},33$ et de $0^{mm},155$ entre le milieu apparent et le milieu réel sont, du reste,

bien plus faibles que celles qui existent entre les différentes observations et la moyenne, erreurs dont la moyenne était de 0mm,50 et de 0mm,66, de sorte que cette différence ne devient sensible qu'en faisant un grand nombre d'expériences.

Cette aberration peut provenir, ce me semble, de ce qu'en regardant binoculairement une ligne divisée en deux parties égales, nous avons l'habitude de la tenir en face de nous, symétriquement par rapport à la tête, d'où résulte l'habitude de voir la moitié droite plus grande avec l'œil droit et la moitié gauche plus grande avec l'œil gauche.

Pour finir la description du champ visuel, nous avons encore à parler de ses limites et de ses lacunes. — Son étendue comprend tous ceux des points de l'espace qui nous entoure dont la lumière peut encore pénétrer par la pupille et atteindre des parties sensibles de la rétine. Il faut excepter du champ visuel les parties de l'espace, telles que celles situées derrière nous, dont la lumière ne peut jamais arriver à notre rétine par la voie normale. La surface de notre champ visuel répond donc à l'image de la rétine projetée en dehors, et ses limites, à celles de la rétine. Nous avons conscience de cette délimitation, nous savons que la vue ne nous fait rien percevoir des objets situés derrière nous, et, avec un peu d'attention, nous pouvons indiquer sur le champ de la vision indirecte quels sont les objets qui sont encore visibles sur le bord du champ visuel, et quels sont ceux qu'on n'y voit plus, autant que le permet la grande confusion des impressions perçues par les parties extrêmes de la rétine. Il faut remarquer ici qu'il y a, dans la sensation, une différence essentielle entre la partie du champ visuel (supposé prolongé) qui est toujours invisible, et la partie visible de ce champ qui nous échappe à un certain moment, par défaut de lumière. La suppression de toute lumière extérieure laisse devant nos yeux un champ obscur délimité : nous savons parfaitement que l'espace situé derrière nous ne nous paraît pas sombre, mais que nous ne le voyons absolument pas. La sensation de l'obscurité est celle du repos ou, si l'on veut, elle est l'absence de sensation dans les parties de notre appareil nerveux visuel qui seraient susceptibles d'excitation. A cette sensation répond, dans la perception, l'idée de parties de l'espace situées devant nous et qui n'envoient pas de lumière à notre œil ; c'est donc là un renseignement déterminé, quoique négatif, sur l'état objectif de ces parties de l'espace. Mais aux parties non visibles de l'espace ne correspond aucun organe sensible qui puisse remarquer et distinguer en lui-même un état de repos. Dans la perception, tout ce qu'on peut en dire, c'est qu'on n'est pas renseigné sur elles, qu'on ignore si elles sont

claires ou obscures. — C'est là une distinction qu'il ne faut pas perdre de vue.

A l'intérieur même de notre champ visuel il existe, répondant à la papille du nerf optique, qui est insensible à la lumière, une lacune où nous ne voyons rien. La position et l'étendue de cette partie ont été déterminées au commencement du paragraphe 18 ; on y a également démontré qu'elle est réellement insensible à la lumière. Nous avons à examiner maintenant comment nous apparaît la partie correspondante du champ visuel.

Le cas ordinaire, c'est que l'existence de la lacune du champ visuel nous échappe absolument et qu'il nous est impossible de fixer notre attention sur ce qui devrait apparaître dans cette lacune. C'est ce qui n'a pas seulement lieu lorsque la notion des objets qui répondent à la lacune de l'un des yeux est complétée par les perceptions de son congénère ou lorsque, un seul œil étant ouvert, les mouvements qu'il exécute déplacent constamment la lacune dans le champ de vision, de manière à faire apparaître successivement les parties qui ont pu n'être pas vues. Alors même que nous maintenons le regard immobile, nous ne pouvons non plus remarquer la lacune, lorsque la partie qui l'entoure, dans le champ visuel, forme un fond d'un éclairage et d'une coloration uniformes ; toute cette partie du champ nous paraît alors recouverte, sans interruption, par la couleur du fond. La nature des objets qui se trouvent alors réellement dans la lacune du champ visuel est évidemment indifférente : ils disparaissent, comme nous l'avons déjà fait voir plus haut. Il faut remarquer, à ce sujet, que nous ne faisons généralement pas usage de la vision indirecte pour nous renseigner sur la forme, la grandeur et la disposition des objets qu'elle nous fait voir, mais que nous ne l'employons guère que pour obtenir une sorte d'esquisse grossière des objets qui environnent le point fixé, sur lequel nous dirigeons notre attention, et pour nous permettre de porter immédiatement notre attention sur les phénomènes nouveaux ou insolites qui peuvent apparaître dans les parties latérales du champ visuel. On comprend donc qu'une partie du champ visuel qui, comme la tache aveugle, ne peut jamais présenter aucun phénomène et, par conséquent, aucun phénomène remarquable, ne peut jamais, dans les conditions ordinaires, devenir l'objet de notre attention. J'ai même vu des gens ayant de l'éducation et de l'instruction, des médecins par exemple, ne pas parvenir à constater la disparition de petits objets sur la tache aveugle. Quand nous nous exerçons, par des expériences d'optique physiologique, à reconnaître des objets à la vision indirecte, ce n'est d'abord que sur de grands objets, qui contrastent avec l'entourage par leur clarté, leur

coloration ou leur mouvement, que nous pouvons porter notre attention, pour en reconnaître la disposition, sans faire varier le point de fixation. Mais il nous est impossible d'appliquer notre attention, dans la vision indirecte, à une partie déterminée qui ne se distingue par aucune impression sensuelle, ainsi que cela a lieu pour la lacune du champ visuel, lorsqu'elle tombe sur un fond uniformément coloré.

Je dois cependant faire remarquer ici que, dans ces derniers temps, j'ai commencé à voir le *punctum cæcum* sous forme d'une tache sombre, lorsqu'ouvrant un œil en face d'une surface blanche étendue, je lui faisais exécuter de petits mouvements, ou lorsque je faisais brusquement un effort d'accommodation ; en y portant l'index, je vois disparaître l'extrémité de ce doigt. C'est là un phénomne subjectif qui se rapporte à ceux que j'ai décrits pages 269 et 270, et qui disparaît bientôt si l'on maintient l'œil ouvert et en repos. Il ne se présente donc ici qu'une exception apparente à ce qui vient d'être dit ; car, dans ce cas, le champ visuel n'est pas subjectivement excité d'une manière uniforme, mais le voisinage du *punctum cæcum* se distingue par des phénomènes spéciaux, capables d'appeler l'attention sur cette partie. Cependant il m'arrive encore souvent de regarder un champ éclairé sans être le moins du monde en état, à moins d'expériences préalables, d'indiquer la position de la tache aveugle dans le champ visuel.

Il en est autrement, du moins pour un observateur un peu exercé à la vision indirecte, lorsqu'on dispose dans le champ visuel des points de repère qui peuvent appeler l'attention précisément sur la lacune. On peut très-bien employer, par exemple, une croix dont la branche verticale se distingue nettement de la branche horizontale, par sa couleur ou par sa clarté, les deux branches se détachant de même sur le fond, et telle que leur croisement puisse être recouvert complétement par la tache aveugle. La figure 183 (p. 786) représente une croix de ce genre. La marque *a* désigne le point de fixation. Le dessin doit être regardé à 16c. de distance. Pour s'assurer que l'intersection devient complétement invisible, on peut la recouvrir d'un pain à cacheter coloré ; lorsque celui-ci a disparu, on cherche à reconnaître, en maintenant bien la fixité du regard, quelle est celle des deux branches de la croix qui paraît passer par-dessus l'autre, au point de fixation. Volkmann (1) et la plupart des autres observateurs qui ont fait cette expérience ont cru voir tantôt l'une, tantôt l'autre des branches passer en avant ; le plus souvent (2), c'était la branche horizontale, peut-être parce que le

(1) *Berichte der kön. Sächs. Ges. d. Wissenschaften,* 30 april 1853, p. 40.
(2) W. v. Wittich, Studien über den blinden Fleck, in *Arch. für Ophth.*, 1863, IX, 3, p. 1-31.

diamètre horizontal de la lacune est plus petit que le diamètre vertical. Mais si l'on diminue successivement la branche horizontale, on voit prédominer finalement la couleur de la branche verticale. Autrefois

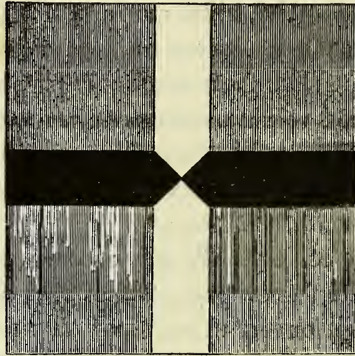


Fig 183.

j'ai cru voir de même, mais depuis que, par de nombreuses observations, je me suis exercé davantage à la vision indirecte, *j'ai parfaitement conscience, dans cette expérience, de ne pas pouvoir voir le croisement des branches.* Aubert, qui est un des observateurs les plus exercés à la vision indirecte, en dit autant : « Bien que fort exercé à la » vision indirecte, après avoir répété maintes fois les expériences indi- » quées par Weber, Volkmann et récemment par Wittich, je dois avouer » que je ne n'ai pu parvenir à former aucun jugement sur la manière » dont le champ visuel est complété dans cette partie. Malgré d'innom- » brables essais, je ne saurais dire si une croix formée d'une ligne » jaune et d'une ligne bleue présente l'une ou l'autre couleur à son » intersection, lorsque celle-ci répond à la tache aveugle; je ne sais » pas davantage si deux parallèles se rapprochent ou non, si une cir- » conférence, épaisse ou déliée, paraît entière ou non » (1).

Il est plus difficile de porter notre attention sur la lacune, lorsque celle-ci n'est traversée que par un contour rectiligne non interrompu. Fixant, avec un œil, un point d'une feuille de papier blanc, qu'on fasse avancer sur cette feuille, en venant du côté temporal du champ visuel, une feuille de papier noir limitée par une ligne droite verticale, jusqu'à ce qu'une partie du contour vertical passe par la lacune du champ visuel. Dans ce cas, la plupart des observateurs croient voir cette ligne sans aucune interruption; mais alors encore, j'ai constaté récemment

(1) Aubert, Physiologie der Netzhaut, Breslau, 1865, p. 257-258.

que je puis reconnaître quand et où je cesse de percevoir une partie de la ligne. Si je déplace la feuille noire en allant vers le point de fixation, je puis reconnaître très-exactement le moment où les deux extrémités visibles de la ligne limitante viennent se rejoindre. Il est plus difficile de reconnaître distinctement quand ce moment se présente lorsque c'est par le côté temporal que le papier sort de la tache aveugle, parce qu'ici la vision indirecte est déjà bien plus imparfaite. Un fait étrange, mais caractéristique pour la nature du phénomène, c'est que je ne vois aucune lacune entre les deux champs blanc et noir, bien que je reconnaisse l'existence d'un endroit où je ne puis pas voir la ligne de séparation ; je trouve que rien ne vient s'interposer entre le blanc et le noir et, malgré tout, je ne puis pas indiquer la position ni la forme de la limite. Je ne puis pas dire, non plus, que le blanc et le noir s'y fondent l'un dans l'autre, car le gris d'une semblable transition serait encore quelque chose de perceptible d'une manière déterminée. Je ne puis comparer l'impression produite qu'avec celle qu'on éprouve lorsqu'on cherche, dans une demi-obscurité, à fixer et à reconnaître des objets faiblement lumineux et que différentes parties du dessin viennent à s'effacer par l'effet des images accidentelles.

La lacune m'apparaît bien plus facilement sur une partie d'une circonférence ou sur la périphérie d'un cercle ; dans ce cas, je puis assez bien indiquer combien il manque du cercle.

Lorsque j'ai devant moi, dans le champ visuel, un grand nombre de petits objets différents, je suis à même de reconnaître immédiatement la position de la tache aveugle, à l'aide d'une certaine indécision par laquelle elle se manifeste. Je suis en état de le faire, par exemple, lorsque je regarde des broussailles, une tenture bariolée, ou un papier qui porte des caractères imprimés.

D'après ce qui précède, je dois donc affirmer qu'au *punctum cæcum* ne répond absolument aucune espèce de sensation, et qu'en particulier aucune sensation provenant des objets environnants ne vient remplir la lacune du champ visuel : au contraire, lorsqu'on observe avec exactitude et qu'on applique les moyens nécessaires pour porter l'attention sur la tache aveugle, on constate qu'en cet endroit la sensation fait défaut. Dans la lacune du champ visuel, on ne voit ni clarté, ni couleur, ni obscurité : on ne voit rien, dans l'acception rigoureuse du mot, et ce rien ne peut même pas se manifester sous forme de lacune ou de limite du visible, car, pour être vue, la lacune du champ visuel devrait présenter une qualité quelconque du visible, ce qui n'est pas. Nous ne pouvons en démontrer l'existence que par des résultats négatifs, en observant quels sont les derniers objets que nous pouvons encore voir.

Si nous démontrons ensuite que ces objets ne se touchent pas dans l'espace, nous sommes amenés à reconnaître la lacune, sa position dans l'espace et sa grandeur. Mais comme il faut, à cet effet, une localisation des impressions visuelles, et que celle-ci ne peut être acquise, d'après notre opinion, que par l'expérience, cette détermination de la lacune repose donc, en réalité, sur un jugement : on ne l'aperçoit pas immédiatement.

Il en est, d'ailleurs, tout à fait de même de la lacune plus grande que présente le champ visuel derrière notre dos ; seulement son existence nous est mieux connue que celle de la tache aveugle, parce que nous n'avons jamais eu de moyen sensuel pour la remplir, tandis que la lacune de la tache aveugle est remplie ordinairement d'une manière suffisante par les perceptions de l'autre œil et par les déplacements du regard, ce qui fait qu'elle ne se traduit pas comme un vide. Les limites du champ visuel ne peuvent non plus être déterminées que négativement, en cherchant, à la vision indirecte, quels sont les objets qu'on voit encore et ceux qu'on ne peut plus voir. Regardons-nous, au contraire, un fond uniforme, en tournant, par exemple, l'œil vers l'angle interne et tenant au-devant lui une feuille de papier translucide et éclairée ; alors, vers l'angle externe de l'œil, nous ne voyons plus rien que la surface blanche : il est absolument impossible, dans ces conditions, de dire où finit cette surface éclairée et où commence l'absence de vision. Mais si le papier portait, sur cette limite, une tache obscure ou colorée, nous pourrions immédiatement déterminer la direction dans laquelle nous voyons cette tache. Ici encore, la partie non visible ne peut donc pas se manifester comme limite de la partie visible ni s'en détacher.

Il en est autrement, lorsque nous utilisons nos sensations pour nous représenter les objets. L'espace objectif et les objets qu'il contient ne peuvent pas avoir de trou correspondant à la lacune de notre champ visuel. Nous nous trouvons donc à peu près dans la situation d'une personne qui, à l'aspect d'un tableau taché ou troué, cherche à se figurer ce que le peintre a voulu représenter. S'il y a, sur une des parties secondaires du tableau, une tache telle que la partie absente se devine d'elle-même, c'est à peine si l'observateur aura conscience de la tache ; tout au moins, elle ne l'empêchera nullement de se représenter les objets, et, sous ce rapport, elle est pour lui comme non avenue. Si donc la tache vient à se trouver sur une surface uniformément colorée ou sur un dessin uniforme, l'observateur remplit immédiatement la lacune avec la couleur du fond, à moins d'avoir des motifs tout à fait particuliers de croire que la coloration ou le dessin présentaient une

différence en ce point. De même, il complétera l'image sans hésitation et sans incertitude, si la tache cachait une petite partie d'un contour rectiligne ou d'une circonférence. Alors seulement que la tache tombe sur des points importants du tableau ou sur des points dont la signification ne va pas de soi, elle attire l'attention de l'observateur et lui rend plus difficile de compléter l'image qu'il se forme des objets représentés.

Cette comparaison est de nature à élucider la question qui nous occupe, surtout si l'on suppose que, dans un tableau varié et intéressant, la tache soit située sur une partie marginale et indifférente, et que ni sa couleur, ni son intensité, ne soient de nature à attirer l'attention de l'observateur. Alors elle pourra échapper à l'attention tout aussi bien que le fait ordinairement la lacune du champ visuel. La comparaison n'est défectueuse qu'en ce que la tache du tableau est quelque chose de visible, qui peut facilement retenir l'attention dès qu'elle s'y est portée, tandis que la lacune du champ visuel n'a pas la qualité d'une chose visible et que c'est faire violence à nos habitudes acquises que de porter, dans le champ visuel indirect, notre attention sur des phénomènes qui ne se font pas remarquer d'une manière positive. Dans les deux cas, nous utilisons autant que possible les éléments positifs de la sensation pour arriver à nous représenter les objets; seulement, pour la lacune du champ visuel, l'insuffisance des éléments de la notion se remarque bien plus difficilement que pour la tache du tableau. Aussi Volkmann dit-il avec raison, que nous comblons la lacune du champ visuel par un acte de notre imagination; seulement il faut ajouter que cet acte d'imagination n'a pas toute l'évidence des notions fournies par les sens, bien qu'il soit plus difficile, dans ce cas que dans d'autres analogues, de s'assurer de l'insuffisance des éléments sensuels. L'un des plus jolis exemples que donne Volkmann de cette restitution par l'imagination, c'est que si l'on amène la lacune sur la page imprimée d'un livre, on croit la voir remplie de lettres que l'on ne peut évidemment pas lire. Cependant ce remplissage ne paraît exister qu'autant que l'on n'a pas constaté, par un examen plus attentif, l'absence totale de perception à l'endroit en question. L'activité de l'imagination ne va donc jamais jusqu'à remplacer et représenter d'une manière positive une sensation absente.

Il nous reste à rechercher quels sont les résultats des mensurations par évaluation oculaire, pour les points voisins de la lacune. — Sous ce rapport, les affirmations des différents observateurs sont très-différentes. Quelques-uns, comme v. Wittich, voient les objets voisins de

la lacune venir remplir ce vide, qui paraît les attirer. D'autres, comme E. H. Weber, Volkmann et moi, voient les parties voisines dans leur disposition véritable, aux déformations près que subissent les parties latérales du champ visuel. Chez d'autres enfin, comme Funcke, l'effet est variable, de sorte qu'en changeant un peu les conditions, ils voient tantôt de l'une, tantôt de l'autre de ces manières.

Les différences sont particulièrement nettes dans l'expérience suivante, proposée par Volkmann. — Posons neuf lettres suivant la disposition représentée par la figure 184, et fixons la petite croix en *k* avec l'œil droit, et à 20 centimètres de distance; *E* se trouve alors dans la lacune. Pour mon œil, la grandeur de la lacune est indiquée dans ces conditions par le contour ponctué dont *E* occupe le milieu. Pour exa-

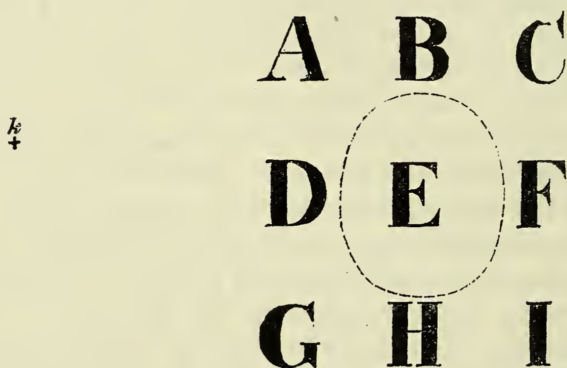


Fig. 184.

miner l'étendue de la lacune et voir si elle n'atteint pas d'autres lettres, on peut placer en *E* un petit pain à cacheter rouge qu'on promène dans les différents sens jusqu'à ce qu'il commence à apparaître. On peut encore former un dessin analogue à l'aide de pains à cacheter différemment colorés que l'on met à la place des lettres. Sur un dessin comme celui de la figure 184, Volkmann et moi, nous voyons les huit lettres *ABC DF GHI* former les côtés rectilignes d'un carré, conformément à la réalité, le milieu de ce carré étant vide. Wittich, au contraire, au lieu des quatre côtés rectilignes du carré, voit quatre arcs *ABC*, *CFI*, *IHG*, *GDA*, dont la convexité est dirigée vers le centre. Funcke (1) les voit avec la même convexité que Wittich, lorsqu'il n'y a pas, dans le voisinage, d'autres lignes droites avec lesquelles il puisse les comparer; il les voit droites, comme Volkmann, lorsqu'on mène par *k*, ou

(1) *Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg in Brisgau*, III, 3, pp. 12, 13.

entre k et ADG, une droite verticale, ou encore lorsqu'on cache la rangée CFI par un papier blanc.

Pour v. Wittich, une ligne droite, dont le milieu traverse la lacune, paraît raccourcie, tandis que E. H. Weber, Volkmann et moi, nous la voyons dans sa longueur véritable. La surface d'un cercle, dont le bord seul n'est pas caché par la tache aveugle, me paraît aussi grande qu'une surface semblable située du côté nasal du point de fixation et à la même distance. Du reste, conformément à ce que Weber et Volkmann ont déjà annoncé, je crois voir toute la surface présenter la couleur du bord, alors même que ce bord n'est visible que sur une faible largeur. Bien plus, si le cercle est découpé dans une feuille couverte d'une impression serrée, je crois voir toute l'étendue couverte de caractères ; il me faut y porter toute mon attention pour m'assurer que je ne distingue rien au milieu du cercle.

Funcke annonce que, lorsque la lacune tombe sur du papier imprimé, après avoir remarqué deux lettres saillantes de part et d'autre de cette lacune, il croit voir ces lettres se rapprocher l'une de l'autre. Dans ce cas encore, je vois les lettres à leur distance véritable.

Ces contradictions s'expliquent sans doute en remarquant que, pour compléter notre appréciation sur les dimensions du champ visuel, laquelle s'est développée principalement par les mouvements de l'œil, nous tenons encore compte des cercles sensitifs de Weber, surtout pour des objets petits, rapprochés les uns des autres, et pour lesquels le premier mode de jugement donne peut-être des résultats moins parfaits. Lorsque deux points noirs sont situés de part et d'autre du point de fixation, nous ne pouvons pas décider s'ils sont également éloignés de ce point, avec la même exactitude que lorsque les deux points sont situés du même côté du point de fixation, voisins l'un de l'autre, et qu'on voit encore entre eux une partie blanche du fond : on n'hésite plus alors à décider lequel est le plus voisin du point de fixation.

Les deux modes de jugement s'accordent nécessairement dans les autres parties du champ visuel ; mais dans la région de la tache aveugle, les impressions qu'on devrait s'attendre à recevoir entre les points situés de part et d'autre de la lacune, et qui seraient le signe sensuel de leur écartement dans l'espace, viennent à faire défaut. D'une autre part, les mouvements de l'œil nous permettent cependant d'acquérir des expériences exactes sur la position véritable des points situés sur les bords de la lacune et de les reconnaître comme séparés. Aussi est-il possible que des observateurs différents, suivant qu'ils sont habitués à tenir plus de compte de l'un ou de l'autre de ces éléments, soient amenés à des appréciations différentes, et que, pour un seul et même

observateur, des circonstances accessoires décident de l'interprétation adoptée.

J'ai déjà fait remarquer qu'en général, dans la vision binoculaire, la lacune de chaque œil est comblée par les perceptions correspondantes de l'autre. Mais, comme l'a fait voir Volkmann, cette règle admet des exceptions. Désignons par a la tache aveugle d'un œil, par α la partie correspondante de l'autre, par b et par β les parties qui entourent respectivement ces points, par A la partie correspondante du champ visuel, par B les parties qui l'entourent ; il est facile de faire les expériences suivantes :

1) Si nous regardons avec le premier œil sur un papier blanc, l'autre étant fermé, nos sensations sont :

en a : rien,	en b : blanc,
en α : sombre,	en β : sombre,

et nous croyons voir

en A : blanc,	en B : blanc.

2) Regardons le papier blanc avec les deux yeux, mais en ajoutant un verre bleu devant le second ; sensations :

en a : rien,	en b : blanc
en α : bleu,	en β : bleu

et nous croyons voir

en A : blanc-bleu,	en B : blanc-bleu.

3) L'expérience donne un résultat analogue en regardant avec les deux yeux, à travers des verres de différentes couleurs, ce qui produit, dans le champ visuel, un mélange inégal et variable des deux couleurs ; dans ce cas encore, A ne se distingue nullement des autres parties du champ.

Dans tous ces cas, où la partie α reçoit le même éclairage que β, nous croyons voir la lacune affecter la couleur du fond, ce qui entraîne ce résultat singulier que la partie A du champ visuel qui, dans un œil, ne provoque aucune sensation et provoque dans l'autre celle du noir ou du bleu, nous apparaît blanche ou blanc-bleu.

4) Regardons une feuille noire, qui porte un cercle blanc correspondant à la lacune a ; sensations :

en a : rien,	en b : noir
en α : blanc,	en β : noir ;

nous voyons

en A : blanc,	en B : noir.

Si nous tenons, devant le second œil, un verre bleu, il faut évidemment remplacer partout le blanc par le bleu.

5) Regardons un champ blanc, présentant une tache noire qui réponde à la lacune a ; sensations :

en a : rien,	en b : blanc
en α : noir,	en β : blanc

et nous voyons

en A : noir,	en B : blanc.

6) Après avoir maintenu pendant quelque temps la fixation exigée par l'expérience précédente, regardons un autre point de la surface blanche ; nous voyons alors une image accidentelle claire de la tache noire, qui répond également à la lacune. Ainsi la faible différence qui existe entre le blanc un peu plus clair de l'image accidentelle et celui un peu moins vif du fond suffit déjà pour déterminer la sensation visuelle de la lacune. Il peut résulter de là des contradictions apparentes avec l'expérience 3.

7) Je modifie les conditions de l'expérience précédente en tenant devant l'œil ab, un verre vert et devant $\alpha\beta$ un verre rouge ; fixant d'abord de telle manière que la tache noire réponde à la lacune a, je la vois vert-noir, à peu près comme si je la voyais avec la lacune a, à travers le verre vert. Mais, en réalité, c'est une couleur qui se produit dans l'autre œil, en α, par contraste avec le fond rouge β. Lorsqu'après avoir fixé un peu de temps, je fixe ensuite une autre partie du papier, la partie A du champ visuel me paraît rouge pur, comme si je la voyais avec l'œil $\alpha\beta$. Mais, dans ce cas, c'est l'image accidentelle d'un rouge plus clair, résultant de la contemplation préalable du noir, qui distingue α de β et détermine ainsi l'impression.

Il me paraît donc résulter de ces expériences que l'impression reçue en α détermine l'image, au moins lorsque α se distingue nettement de β par son intensité et sa couleur. Cependant, même alors, α n'est pas la seule influence en jeu.

8) Je regarde, d'abord avec ab seulement, un papier gris clair, sur lequel un pain à cacheter blanc répond à la lacune a ; puis j'ouvre l'œil $\alpha\beta$ après l'avoir muni d'un verre rouge. La sensation est alors

en a : rien,	en b : gris,
en α : rouge,	en β : rouge faible ;

je crois voir

en A : blanc-rouge,	en B : rouge gris.

Le rouge qui apparaît en α, lorsque l'œil *ab* est fermé, est incontestablement plus saturé qu'il ne l'est en *A*, lorsque *ab* est ouvert, et cela bien que *a* ne reçoive aucune sensation. Les résultats sont analogues lorsqu'on se sert de verres autrement colorés. La différence devenait encore plus nette lorsque je plaçais, à côté du pain à cacheter blanc, un pain rouge qui, vu à travers le verre rouge, présentait le même aspect que le pain blanc. Mais, aussi longtemps que l'œil est fermé derrière le verre, le pain à cacheter rouge doit être caché par un écran de même couleur que le fond, afin qu'il ne s'en produise pas d'image accidentelle qui aurait pour effet d'en affaiblir le rouge et de le rendre gris au moment de la comparaison.

Dans ce dernier cas, c'est incontestablement l'influence du fond gris en *b* qui nous fait paraître *a* blanchâtre. Tous ces phénomènes peuvent être ramenés à la loi suivante : *Dans la vision binoculaire, la partie* A *qui correspond à la lacune dans le champ visuel nous paraît trancher d'autant plus en clair ou en sombre sur le fond* B, *que nous la voyons réellement plus claire ou plus obscure dans l'autre œil* (*α et β*). La coloration commune du champ visuel αβ ne se transmet pas à la lacune de l'autre œil ; on considère la différence qui existe entre α et β comme applicable aussi à *a* et *b*. Nous retrouverons des circonstances analogues en parlant du contraste binoculaire.

On a pu se trouver embarrassé par les phénomènes subjectifs qui se présentent précisément à l'entrée du nerf optique, tels que les gerbes lumineuses qui accompagnent les mouvements rapides de l'œil et les cercles clairs ou sombres que produit l'excitation électrique. On ne peut les expliquer qu'en admettant une excitation des parties qui entourent immédiatement le nerf optique. Pour l'excitation électrique, l'explication est sans doute simplement que la partie tendineuse du nerf optique située derrière la sclérotique, conduisant mal l'électricité, rend difficile l'excitation des parties rétiniennes qui sont situées devant elle, ce qui les fait contraster avec le reste du champ visuel. Un courant ascendant, qui éclaire le champ visuel, fait paraître obscure l'entrée du nerf optique, qui conduit mal l'électricité ; un courant descendant, au contraire, qui obscurcit le champ et le rend jaune rougeâtre, donne à l'entrée du nerf un aspect lumineux et bleu.

En ce qui concerne les gerbes lumineuses qui accompagnent les mouvements rapides de l'œil, on ne peut pas démontrer l'exactitude de cette explication, mais cela est possible pour les taches sombres correspondantes, qui apparaissent lorsqu'on tourne fortement les yeux de côté en les portant sur un champ uniformément éclairé. — Si l'on dirige

les yeux à gauche, on voit, avec l'œil droit, une tache située à droite du champ visuel, tache dont le bord droit est très-bien limité, tandis que le bord gauche, celui qui est tourné vers le milieu du champ visuel, est très-vague. C'est bien là que se trouve la lacune du champ visuel; car, si l'on amène la pointe d'un crayon en avant de ce bord interne de la tache sombre, cette pointe disparaît, ce qui n'a pas lieu dans les autres parties de la tache sombre. — Par contre, en portant l'œil gauche à gauche, on voit la tache obscure apparaître entre le point de fixation de cet œil et sa tache aveugle. Ainsi, en tournant les yeux à gauche, on diminue la sensibilité des deux rétines à gauche des nerfs optiques (dans le champ visuel, la tache obscure est à droite). C'est là le côté où le nerf optique, en se tendant sur la sclérotique, l'enfonce probablement un peu, ce qui a pour effet de tirailler la rétine. On peut donc démontrer que ces taches sombres ne répondent pas précisément à l'entrée du nerf optique, mais à son bord. Les phénomènes lumineux du champ obscur occupent sans doute la même position que ces taches sombres, ainsi que cela a lieu pour les phosphènes; je crois même, en y faisant spécialement attention, avoir constaté que la pointe de l'une des gerbes atteint le point de fixation, comme le fait l'une des taches sombres. — Le lecteur est prié de corriger conformément à ce qui précède, ce qui avait été dit page 270, relativement à la position de ces taches.

Lorsqu'on regarde deux points inégalement éloignés dans le champ visuel et pour lesquels, par conséquent, l'œil ne puisse pas être simultanément accommodé, au moins l'un des deux apparaît sous forme d'image de diffusion. Le cône lumineux qui forme ce cercle de diffusion est limité par l'ouverture de la pupille, et le rayon qui passe par le centre de la pupille coïncide avec l'axe de ce même cône. Si donc les centres des cercles de diffusion de deux points inégalement éloignés, viennent se placer en un même point rétinien a, ou si l'image exacte d'un point coïncide avec le centre du cercle de diffusion de l'autre point, les deux rayons qui, provenant des deux points de l'espace, passent par le centre de la pupille, doivent complétement coïncider, ou le rayon qui passe par les deux points de de l'espace rencontre nécessairement ensuite le centre de la pupille.

Or le centre de la pupille se trouve à l'intérieur du système optique de l'œil, entre la cornée et le cristallin. Par conséquent, les rayons subissent une réfraction avant d'arriver à ce point et une nouvelle déviation après l'avoir traversé.

Les rayons qui partent du centre véritable de la pupille sont réfractés par la cornée de manière à paraître venir de l'image que la cornée donne du centre de la pupille. Inversement, les rayons qui, venus de dehors, convergent vers l'image du centre de la pupille, passent par ce centre lui-même.

Ainsi l'image que la réfraction des rayons par la cornée donne du centre de la

pupille, est le point que nous avons désigné sous le nom de *point de croisement des lignes de visée.* Lorsque deux points lumineux se trouvent, en avant de l'œil, sur une ligne droite passant par ce point, les centres de leurs cercles de diffusion coïncident sur la rétine.

J'ai également calculé en millimètres la distance qui sépare de la cornée, le point de croisement des lignes de visée, pour l'œil schématique qui a été calculé page 154.

	ACCOMMODATION	
	POUR LOIN.	POUR PRÈS.
1. Distance du centre de la pupille..........	3mm,6	3mm,2
2. Distance de la cornée au point de croisement des lignes de visée..................	3,036	2,661
3. Distance du point de croisement au centre de la pupille........................	0,564	0,539

Pour déterminer le sommet de l'angle visuel, lorsque l'œil s'accommode chaque fois pour l'objet observé, il faut procéder autrement, parce que les variations de l'accommodation sont accompagnées de déplacements des points nodaux. Voici le moyen le plus simple de trouver ce sommet dans ces conditions.

Supposons que le point A (fig. 185) soit le sommet cherché ; soient DA et CA deux lignes droites qui, passant par ce point, forment des angles égaux avec l'axe

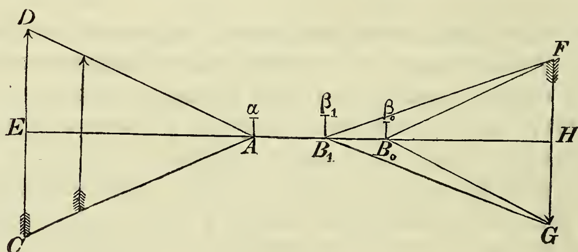


Fig. 185.

optique EA et se trouvent dans le même plan que cet axe. On demande que des objets, tels que les deux flèches dont les extrémités se trouvent sur les lignes DA et CA, donnent tous deux des images rétiniennes égales FG, lorsque l'œil est accommodé exactement pour les extrémités de ces objets. Soient maintenant B_0 l'image de A dans l'œil regardant au loin et B_1 l'image de ce point dans l'œil voyant de près. Si nous considérons les lignes DA et CA comme des rayons, ils se réfractent de telle manière que, dans le corps vitré, ils divergent de B_0 ou de B_1 pour aller respectivement en F et en G.

Qu'on imagine maintenant en A, un petit objet α, perpendiculaire à l'axe, et

en B_0, et respectivement en B_1, ses images optiques β_0 et β_1, d'après l'équation 7d) de la page 70, on peut écrire, entre ces images et les angles DAC, FB_0G, FB_1G, la relation

$$n_1\alpha \text{ tang } \frac{DAC}{2} = n_2\beta_0 \text{ tang } \frac{FB_0G}{2}$$
$$= n_2\beta_1 \text{ tang } \frac{FB_1G}{2},$$

n_1 et n_2 étant les indices de réfraction de l'air et du corps vitré. Mais comme

$$\text{tang } \frac{FB_0G}{2} = \frac{FH}{HB_0},$$
$$\text{tang } \frac{FB_1G}{2} = \frac{FH}{HB_1},$$

il vient

$$\beta_0 : \beta_1 = HB_0 : HB_1 .$$

Le sommet cherché de l'angle visuel est donc caractérisé par cette propriété que s'il s'y trouve un petit objet (virtuel) perpendiculaire à l'axe, les changements d'accommodation font augmenter la grandeur de son image proportionnellement à la distance qui sépare cette image de la rétine.

Si l'on calcule la position de ce point en se servant des moyennes des valeurs des constantes optiques indiquées page 154 pour l'œil regardant successivement de près et de loin, on le trouve situé à $2^{mm},942$ de la cornée, de sorte qu'il coïncide presque exactement avec le point de croisement des lignes de visée de l'œil regardant au loin, point que j'ai trouvé tout à l'heure situé à $3^{mm},036$ de la cornée. Aussi, dans les applications pratiques, pouvons-nous considérer ces deux points comme coïncidant, d'autant plus qu'avec le degré d'exactitude avec lequel nous connaissons actuellement les constantes optiques de l'œil, on ne peut pas répondre de différences aussi petites que celles dont il est question ici.

D'après ce qui précède, il serait donc indifférent, relativement à la grandeur de l'angle visuel de l'œil immobile, que l'accommodation se fasse pour les points à observer ou pour l'infini.

La différence entre l'angle formé par les lignes menées de deux points extérieurs au point nodal de l'œil et celui compris entre les lignes menées des mêmes points au centre de rotation de l'œil, a été nommée par Listing (1) *parallaxe entre les positions apparentes des objets dans la vision directe et dans la vision indirecte.* Je préférerais, dans cette dénomination, prendre pour sommet du premier de ces deux angles le point d'intersection des *lignes de visée* (2), parce que deux points de l'espace ont la même position, dans la vision indirecte, lorsqu'ils se trouvent sur la même ligne de visée.

---

(1) Beitrag zur physiologischen Optik, Göttingen, 1845, p. 14-16.
(2) Listing nomme lignes de visée les lignes menées de l'objet au centre de rotation de l'œil.

Cette parallaxe est nulle lorsque les objets sont à l'infini ; car, pour des objets infiniment éloignés, les deux angles à comparer ont leurs côtés parallèles chacun à chacun. Si un seul des objets est à l'infini, le parallaxe en question indique de combien l'objet le plus rapproché paraît se déplacer devant un fond infiniment éloigné, lorsqu'on dirige le regard sur cet objet.

Afin de pouvoir, dans ce cas qui est relativement le plus simple, comparer la grandeur de la parallaxe en question avec les inexactitudes de l'accommodation,

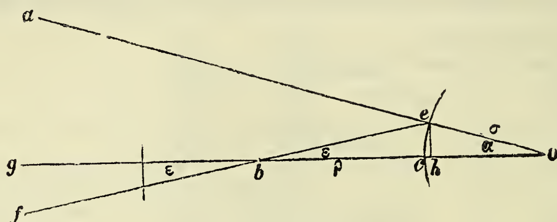


Fig. 186.

soient o (fig. 186) le centre de rotation de l'œil, $oc = oe = \sigma$ la distance du point d'intersection des lignes de visée. Supposons que l'objet le plus éloigné soit situé sur oa, soit b l'objet le plus voisin ; lorsqu'on fixe directement b, ce point paraît être sur bg et il masque les parties du fond infiniment éloigné qui se trouvent sur cette direction. Mais si l'on fixe suivant la direction oa, le point d'intersection des lignes de visée se trouve en e, et b apparaît sur la direction ef. L'angle $ebc = fbg = \varepsilon$ est donc la parallaxe entre la vision directe et la vision indirecte. Désignant par ρ la distance entre b et c, on a

$$\text{tang}\ \varepsilon = \frac{eh}{hb} = \frac{\sigma \sin \alpha}{\rho + \sigma\,(1 - \cos \alpha)}\,.$$

Soient P le diamètre de la pupille à travers le cristallin, H la distance du foyer antérieur au point d'intersection des lignes de visée ; d'après l'équation 1b) de la page 135, on obtient, pour le diamètre p du cercle de diffusion de b, dans un œil accommodé pour loin,

$$p = \frac{P\,.\,H}{\rho}\,,$$

et si nous nommons η l'angle sous lequel le rayon du cercle de diffusion paraît projeté sur le fond situé à l'infini et f la distance du point nodal de la cornée au foyer postérieur, on a

$$\text{tang}\ \eta = \frac{p}{2f} = \frac{P\,.\,H}{2\rho\,.\,f}\,;$$

dans la valeur de tang ε, négligeant σ ($10^{\text{mm}},5$) à côté de ρ (distance de l'objet), on a

$$\text{tang}\ \varepsilon = \frac{\sigma \sin \alpha}{\rho}\,,$$

et, par conséquent, $\eta > \varepsilon$, tant qu'on a

$$\frac{PH}{2\sigma f} > \sin \bar{\alpha}.$$

Mais d'après les valeurs indiquées plus haut pour l'œil regardant au loin,

$$H = 15{,}869 \text{ millimètres},$$
$$f = 15{,}007 \quad \text{—}$$
$$\sigma = 10{,}521 \quad \text{—} \quad ;$$

P peut osciller entre 3 et 6 millimètres environ ; pour la première de ces valeurs on a

$\alpha < 8°,40$, et pour la seconde, $\alpha < 17°,33$.

Tant que le mouvement de l'œil n'est pas plus grand que ces valeurs de l'angle α, le déplacement qui accompagne le passage de la vision directe à la vision indirecte n'est pas plus grand que le rayon du cercle de diffusion sous lequel on voit le point le plus rapproché.

Si l'on considère, en même temps, l'excessive confusion de la vision indirecte à 8° du point de regard, on comprendra pourquoi ce n'est qu'exceptionnellement, lorsque, par exemple, un point très-brillant apparaît derrière le bord d'un écran obscur, que nous remarquons la modification de l'image qui accompagne les mouvements de l'œil.

Je vais encore citer deux pièces importantes pour l'intelligence des phénomènes visuels : ce sont les observations faites par Cheselden et par Wardrop sur deux aveugles-nés auxquels ces opérateurs rendirent la vue à un âge relativement avancé.

Cheselden avait opéré un garçon de treize ans, porteur de cataractes congénitales très-opaques. — Voici ce qu'il rapporte (1) sur la manière dont ce garçon distinguait les formes : « Dans les premiers temps, loin d'être en état d'apprécier les distances, il s'imaginait que tous les objets qu'il voyait touchaient ses yeux, de même que les objets sentis sont au contact de la peau. Ce qu'il aimait le mieux, c'étaient les objets lisses et réguliers (soit à cause de leur brillant, soit parce que l'analyse de leur impresion visuelle est plus simple et plus facile ?) bien qu'il ne sût pas se faire une idée de leur forme, ni se rendre compte de ce qui lui plaisait dans un objet. Il ne se faisait pas d'idée de la forme des objets et ne les reconnaissait pas, quelles que fussent leurs différences de forme et de grandeur; mais quand on lui désignait les objets qu'il avait reconnus d'abord à l'aide du toucher, il les considérait très-attentivement, afin de les reconnaître plus tard. A cause du nombre considérable de choses qu'il avait à apprendre à la fois, il en

(1) *Phil. Transact.*, 1728, XXXV, p. 447-450. — Smith, Optics, Remarks, p. 27.

oubliait beaucoup et, comme il disait, il apprenait à connaître et oubliait de nouveau mille choses en un jour..... Ainsi, par exemple, après avoir souvent confondu le chien et le chat, il n'osa pas s'informer de nouveau à ce sujet; mais on le vit attraper le chat, qu'il reconnaissait par le toucher, puis, après l'avoir examiné attentivement, le relâcher en disant : « Va, Minet, je te reconnaîtrai à l'avenir ». On crut d'abord qu'il n'avait pas tardé à comprendre ce que représentaient des images qu'on lui montrait, mais on s'aperçut par la suite qu'on s'était trompé : il remarqua subitement que les tableaux représentent des corps solides; jusque-là, il ne les avait considérés que comme des plans couverts de différentes couleurs. Ce qui ajouta à sa surprise, c'est qu'il s'attendit alors à ce que les tableaux lui présentassent, au toucher, la même sensation que les objets représentés, et son étonnement fut extrême en remarquant que les parties que les effets d'ombre et de lumière faisaient paraître rondes et inégales, semblaient unies à la main, comme le reste. Il demandait quel était le sens qui le trompait, si c'était le toucher ou la vue.

» Lorsqu'on lui montra le portrait de son père dans un médaillon de la montre de sa mère, en lui disant ce que c'était, il en reconnut la ressemblance, mais il témoigna une grande surprise; il demanda comment on avait pu représenter une figure si grande dans un espace si restreint, ajoutant que cela lui aurait paru tout aussi impossible que de mettre le contenu d'un boisseau dans une pinte.

» Au commencement, il supportait difficilement la lumière et tout ce qu'il voyait lui paraissait d'une grandeur démesurée; en voyant des objets plus grands, il reconnut que ceux qu'il avait vus d'abord étaient plus petits, parce qu'il ne pouvait pas se représenter de lignes en dehors de l'étendue qu'il voyait; il savait bien, disait-il, que la chambre dans laquelle il se trouvait n'était qu'une partie de la maison, mais il ne pouvait pas concevoir comment la maison entière pouvait paraître plus grande que la chambre.....

» Une année après qu'il eût recouvré la vue, on le conduisit sur les dunes d'Epsom; l'aspect du vaste panorama qu'on en découvre lui fit un plaisir extrême : c'était, disait-il, une nouvelle vue.

» Lorsqu'on lui opéra le second œil, il dit qu'avec cet œil les objets lui paraissaient très-grands, mais moins, cependant, qu'ils n'avaient fait d'abord pour l'autre œil. Quand il regardait le même objet avec les deux yeux, il le trouvait deux fois plus grands qu'en employant celui qui avait été opéré d'abord, mais, autant qu'on put en juger, il ne vit jamais double ».

Il faut faire remarquer ici que, quelque opaque que fût le cristallin, l'aveugle n'en avait pas moins été toujours en état d'apprendre comment il devait diriger les yeux pour recevoir du soleil la sensation la plus brillante, c'est-à-dire, pour regarder le soleil. On ne pouvait donc pas le considérer comme complétement inexpérimenté dans l'appréciation de la position des objets d'après la direction du regard. Il est même invraisemblable que le cristallin diffuse jamais la lumière d'une manière assez uniforme dans toutes les directions, pour que les parties de rétine voisines de l'endroit où devrait se former le foyer des rayons ne soient pas un peu plus fortement éclairées que le reste de cette membrane. Cela doit pouvoir suffire pour la production d'un certain degré, très-imparfait et très-inexact,

il est vrai, de localisation dans le champ visuel, et J. Ware (1) a constaté qu'il en était réellement ainsi dans un cas analogue. Cet observateur a trouvé que des enfants atteints de cataracte pouvaient reconnaître, non-seulement la couleur d'objets colorés qu'on amenait près de leurs yeux, mais encore, jusqu'à un certain point, la distance. Un garçon de sept ans, opéré par Ware, se montra tout d'abord plus adroit et plus à son aise que le malade de Cheselden. Il est très-intéressant de suivre, dans l'observation qu'on a vue plus haut, l'influence si manifeste de l'éducation sur la production des perceptions visuelles.

Wardrop (2) a communiqué le cas, encore plus remarquable sous certains rapports, d'une dame de quarante-six ans qui était née aveugle, probablement par suite de cataractes aux deux yeux. A l'âge de six mois, elle avait subi à Paris une opération à la suite de laquelle l'œil droit avait été complétement perdu et la pupille de l'œil gauche avait subi une occlusion complète, au point de n'avoir laissé d'autres traces que quelques traînées d'exsudats jaunes qui s'étaient répandus irrégulièrement sur le milieu de l'iris. Cette dame était donc bien plus aveugle que ne le sont ordinairement les individus atteints de cataracte, et ne pouvait guère distinguer, de la lumière et de sa direction, plus que nous ne pouvons faire avec les paupières fermées. Elle savait distinguer une chambre très-éclairée d'avec une chambre obscure, sans reconnaître pourtant la position de la fenêtre qui donnait accès à la lumière; cependant, à la clarté du soleil ou de la pleine lune, elle reconnaissait la direction d'où venait la lumière.

Le 26 janvier 1826, on essaya en vain d'exciser les exsudats qui bouchaient la pupille. Le 8 février suivant, on fit, à travers l'iris, une incision qui laissa pénétrer largement la lumière dans l'œil; mais derrière l'ouverture, il restait une masse non transparente. Pendant la faible inflammation qui s'ensuivit, la patiente était très-sensible à la lumière; on remarqua qu'elle cherchait souvent à voir ses mains. Enfin, le 17 février, on agrandit l'ouverture de l'iris et l'on enleva les masses opaques situées plus en arrière, ce qui finit par rétablir la vision. Je vais citer ici les parties les plus intéressantes du rapport de Wardrop :

« Après l'opération, elle retourna chez elle, en voiture, avec un simple bandeau flottant devant l'œil; la première chose qu'elle remarqua, fut une voiture de louage qui passait; elle s'écria : « Quel est ce grand objet qui vient de passer à côté de nous ? » Dans le courant de la soirée, elle pria son frère de lui faire voir sa montre, au sujet de laquelle elle montra une grande curiosité; elle la regarda longtemps, en la tenant près de l'œil. On lui demanda ce qu'elle voyait, et elle répondit qu'un côté était obscur, tandis que l'autre était clair; elle montra le chiffre XII et sourit. Son frère lui demanda si elle voyait quelque chose de plus; elle répondit que oui, et montra le chiffre VI et les aiguilles. Elle regarda ensuite la chaîne et les cachets et remarqua que l'un des cachets était clair, et il était effectivement en cristal de roche. Le lendemain, je la priai de regarder de nouveau la montre; elle refusa en

(1) J. Ware, Case of a young gentleman who recovered his sight, when seven years of age, in *Phil. Trans.*, 1801, XCI, p. 382-396.

(2) J. Wardrop, Case of a lady born blind, who received sight at an advanced age by the formation of an artificial pupil, in *Phil. Trans.*, 1826, III, 529-540.

alléguant que la lumière lui faisait mal à l'œil et qu'elle se trouvait stupide ; elle voulait dire par là qu'elle était embarrassée en présence du monde visible qui lui apparaissait pour la première fois. Le troisième jour, elle remarqua des portes de l'autre côté de la rue et demanda si elles étaient rouges : en réalité, elles étaient couleur de chêne. Le soir, elle regarda la figure de son frère et dit qu'elle voyait son nez; il lui dit de lui toucher le nez, ce qu'elle fit; il se couvrit alors la figure d'un mouchoir et la pria de le regarder encore; elle enleva plaisamment le mouchoir et dit : Qu'est-ce cela signifie ?

» Le sixième jour, elle dit qu'elle voyait mieux que les jours précédents ; mais, disait-elle, je ne puis pas dire ce que je vois, je suis tout à fait stupide. Elle paraissait, en réalité, stupéfaite de ne pas pouvoir combiner les perceptions du toucher avec celles de la vue et se trouva désappointée de ne pas pouvoir distinguer immédiatement par la vue des objets qu'elle distinguait si facilement par le toucher.

» Le septième jour, elle remarqua l'hôtelière chez laquelle elle logeait et dit qu'elle la trouvait grande. Elle demanda quelle était la couleur de sa robe : on lui répondit qu'elle était bleue. « Ce que vous avez sur la tête, dit-elle, est de la même couleur », ce qui était vrai; « et votre mouchoir est d'une autre couleur », ce qui était également vrai. Elle ajouta : « Je vous vois assez bien, je pense ». On lui montra des tasses à thé et des soucoupes; son frère lui demanda ce que c'était. « Je ne sais pas, répondit-elle, cela paraît très-bizarre ; mais, en y touchant, je » vous dirai aussitôt ce que c'est ». Elle vit une orange sur la cheminée, mais elle ne put pas se figurer ce que c'était, avant de l'avoir touchée. Elle paraissait plus gaie et commençait à concevoir de plus grandes espérances sur les avantages que lui procurerait son entrée dans le monde visible; elle comptait fermement qu'elle pourrait faire plus facilement usage de ses facultés nouvellement acquises lorsqu'elle serait de retour chez elle, où tous les objets lui étaient familiers.

» Le huitième jour, à table, elle demanda à son frère de lui nommer ce qu'il tenait à la main; et en apprenant que c'était un verre de vin de Porto, elle répondit : « Le porto est foncé et me paraît très-laid ». Lorsqu'on apporta les bougies, elle remarqua, dans la glace, la figure de son frère et celle d'une dame présente; elle put aussi, pour la première fois, aller seule de sa chaise à un canapé placé à l'autre extrémité de la chambre et revenir à la chaise. Au thé, son attention fut attirée par la vaisselle; elle remarqua l'éclat de la porcelaine et demanda « quelle est la couleur le long des bords ». On lui dit que c'était jaune, elle répondit : « Je reconnaîtrai cette couleur ».

» Le neuvième jour, en descendant pour déjeuner, elle était de très-bonne humeur; elle dit à son frère : « Aujourd'hui, je te vois très-bien ». Elle alla au-devant de lui et lui donna une poignée de main. Elle remarqua aussi un écriteau d'appartement à louer, à la fenêtre d'une maison située en face; son frère, pour s'en convaincre, la ramena trois fois à la fenêtre et à chaque fois il eut la surprise et la satisfaction de lui voir indiquer sans hésitation l'écriteau.

» Elle passa une grande partie du onzième jour à regarder par la fenêtre; elle parla très-peu.

» Le douzième jour, on lui conseilla de sortir, ce qui lui fit beaucoup de plaisir... Son frère l'accompagna pour la conduire et lui fit faire deux fois le tour des

colonnades de Coventgarden. Elle parut très-étonnée, mais évidemment très-joyeuse; le ciel bleu et clair attira son attention; elle dit : « C'est la plus belle chose que j'aie encore vue et il me paraît toujours également beau toutes les fois que je le regarde ». Elle distingua bien la chaussée d'avec le trottoir et passa de l'un à l'autre comme quelqu'un qui serait habitué à l'usage de ses yeux. Sa grande curiosité et la manière dont elle restait en arrêt devant les différents objets en les montrant, attirèrent l'attention de la foule, ce qui contraignit son frère à la faire bientôt rentrer, à son grand regret.

» Le treizième jour, il ne se passa rien de particulier jusqu'au moment du thé, où elle remarqua que le service était différent, moins joli que le précédent, et qu'il avait un bord foncé, ce qui était exact. Son frère l'engagea à regarder dans la glace et lui demanda si elle l'y voyait; elle répondit avec une déception visible : « C'est ma propre figure que j'y vois, laisse-moi tranquille ».

» Le quatorzième jour, elle fit, en voiture, un trajet de quatre milles sur la route de Wandsworth, admira surtout le ciel et les champs, remarqua les arbres et aussi la Tamise, au passage du pont de Vauxhall. Il faisait un soleil très-brillant et elle disait que quelque chose l'éblouissait lorsqu'elle regardait vers l'eau.

» Le quinzième jour étant un dimanche, elle alla à une chapelle située à quelque distance; elle voyait évidemment plus distinctement qu'auparavant, mais elle paraissait plus troublée que lorsque sa vision était moins parfaite. Les personnes qui passaient sur le trottoir l'effrayaient; en voyant passer un monsieur avec un gilet blanc et un habit bleu à boutons jaunes qui brillaient au soleil, elle fit un tel soubresaut qu'elle attira en bas du trottoir son frère qui l'accompagnait. Elle reconnut que le prédicateur agitait ses mains sur la chaire et qu'il y tenait quelque chose; c'était un mouchoir blanc.

» Le seizième jour, elle sortit en voiture pour faire une visite dans un quartier éloigné de la ville; le mouvement des rues parut l'amuser beaucoup. Comme on lui demanda ce qu'elle voyait ce jour-là, elle répondit : « Je vois une foule » de choses, si seulement je pouvais dire quoi, mais certainement, je suis bien » stupide ».

» Le dix-septième jour, il ne se passa rien de particulier; et lorsque son frère lui demanda comment elle se trouvait, elle répondit : « Je vais bien, et je vois de » mieux en mieux : mais ne me tourmente pas à force de questions, jusqu'à ce » que j'aie un peu mieux appris à me servir de mon œil. Tout ce que je puis dire, » c'est que tout ce que je vois m'apprend qu'il s'est produit un grand changement; » mais je ne puis pas décrire ce que je ressens ».

» Dix-huit jours après la dernière opération, je cherchai à étudier, par quelques expériences, l'exactitude de ses notions de couleur, de grandeur, de forme, de position, de mouvement et de distance des objets extérieurs. Comme elle ne pouvait voir qu'avec un œil, il n'y avait pas lieu d'étudier la question de diplopie. Elle reconnaissait évidemment la différence des couleurs, c'est-à-dire qu'elle recevait et sentait des impressions différentes en regard des couleurs différentes. En lui présentant des carrés de papier de différentes couleurs, de 1″ 1/2 de côté, non-seulement elle les distingua immédiatement les uns des autres, mais elle donna encore une préférence marquée à certaines couleurs; le jaune lui plaisait

le mieux, puis le rose pâle. Il faut encore remarquer ici que lorsqu'elle voulait examiner un objet, elle éprouvait beaucoup de difficulté à y porter le regard et à en découvrir la position ; elle déplaçait, dans différents sens, ses mains en même temps que ses yeux, comme une personne dont on a bandé les yeux, ou qui se trouve dans l'obscurité, fait pour tâcher de saisir les objets. Elle distinguait les uns des autres les grands et les petits objets lorsqu'on les lui présentait ensemble pour les comparer. Elle dit qu'elle voyait des formes différentes pour différents objets qu'on lui montrait. On lui demanda d'indiquer ce qu'elle entendait par différentes formes, comme, par exemple, des formes longues, rondes, carrées, en les dessinant du doigt, sur sa main ; puis on lui présenta les formes indiquées et elle les reconnut exactement. Non-seulement elle distinguait les grands et les petits objets, mais elle avait aussi parfaitement la notion de haut et de bas. Pour s'en assurer, on lui présenta une figure dessinée avec de l'encre, et qui était large d'un bout et étroite de l'autre ; elle reconnut la position telle qu'elle était et non pas renversée. Elle remarquait aussi les mouvements ; on plaça, en effet, devant elle, un verre d'eau sur la table et on l'éloigna vivement au moment où elle voulait le saisir : elle dit aussitôt : « Vous le déplacez, vous le retirez ».

» Ce qui parut lui présenter la plus grande difficulté, c'était d'apprécier la distance des objets ; pour prendre un objet placé tout près de son œil, il lui arrivait d'allonger le bras, tandis que, dans d'autres circonstances, elle cherchait tout près de sa figure des objets très-éloignés.

» Elle apprit avec facilité les noms des différentes couleurs, et deux jours après qu'on lui eût montré les papiers colorés, elle remarqua, en entrant dans une chambre de couleur cramoisie, que la tenture en était rouge. Elle remarqua aussi quelques tableaux suspendus au mur rouge de la chambre où elle était assise et elle y distingua quelques figures, sans savoir ce qu'elles représentaient ; elle admira les cadres dorés...

» Il faut encore remarquer ici que, par l'exercice de la vue, elle n'avait encore acquis qu'une notion bien imparfaite de quelques formes ; elle était incapable d'appliquer les renseignements fournis par ce nouveau sens et de les comparer avec ceux qu'elle avait coutume d'acquérir par le toucher. C'est ainsi qu'après avoir distingué parfaitement au toucher un porte-crayon d'argent et une grande clef, tout en les voyant tous deux lorsqu'on les eut mis sur la table, elle fut hors d'état de les reconnaître l'un de l'autre.

» L'histoire de cette dame ne présenta plus rien qui fût digne d'être mentionné, jusqu'au vingt-cinquième jour après l'opération. Ce jour-là elle se promena une heure en voiture à Regent's-Park ; elle parut s'y divertir plus que d'habitude et fit plus de questions sur les objets environnants : « Qu'est-ce ceci ? » On lui répondit que c'était un soldat. « Et ceci ? Regardez donc ! » C'étaient des bougies de diverses couleurs, dans un étalage. « Qu'est-ce qui vient de passer à côté de nous ? » C'était un homme à cheval. « Mais qu'est-ce que ce rouge sur le trottoir ? » C'étaient des dames qui portaient des châles rouges. Lorsqu'elle entra dans le parc, on lui demanda ce qu'elle voyait le mieux, ou si elle pouvait deviner la nature de quelques-uns des objets qui s'y trouvaient. « Certainement, répondit- » elle, voici le ciel, voici l'herbe ; là-bas, il y a de l'eau et deux objets blancs ; »

c'étaient deux cygnes. En revenant par Piccadilly, les boutiques de joailliers parurent l'étonner beaucoup, et ses remarques excitèrent un rire joyeux parmi les personnes qui l'accompagnaient.

» Depuis cette époque jusqu'à son départ de Londres, le 31 mars, six semaines après l'opération, elle acquit presque tous les jours de nouvelles connaissances sur le monde visible, mais il lui restait encore beaucoup à apprendre. Elle connaissait assez exactement les couleurs, leurs différentes nuances et leurs noms; et lorsqu'elle vint me faire sa visite d'adieu, elle portait une robe, la première qu'elle eût chosie elle-même, dont la couleur d'un pourpre clair paraissait lui faire un plaisir extrême, ainsi que son chapeau qui était orné de rubans rouges. Elle était encore loin d'avoir acquis aucune connaissance exacte des formes ou des distances, et tous les objets qu'elle voyait continuaient à la mettre dans une grande perplexité. Elle ne pouvait non plus, sans grande difficulté et sans un grand nombre d'essais infructueux, diriger son œil vers un objet; de sorte que lorsqu'elle voulait regarder quelque chose, elle tournait la tête dans différents sens jusqu'à ce que son œil eût saisi l'objet qu'elle cherchait. Elle nourrissait encore l'espoir, qu'elle avait manifesté peu après l'opération, qu'à son retour chez elle, elle aurait une connaissance plus exacte et plus intelligible des objets extérieurs, et qu'en regardant les objets qui lui avaient été si longtemps familiers par le toucher, le trouble qu'occasionnait chez elle la diversité des objets diminuerait considérablement. »

Ici s'arrête la relation de Wardrop. — Il faut remarquer que, déjà plusieurs jours avant la dernière opération, la patiente s'était efforcée de voir ses mains, bien qu'elle n'eût pas encore complétement recouvré la vue; par ce moyen, elle pouvait donc bien avoir appris à les reconnaître dans le champ visuel et à suivre leurs mouvements avec le regard. De plus, elle pouvait avoir appris auparavant à diriger sa vue vers le soleil, et acquérir ainsi, jusqu'à un certain point, la faculté de diriger le regard et de reconnaître vaguement d'où venait la lumière qui excitait son œil. Les images optiques formées sur sa rétine paraissent avoir été assez bonnes, puisqu'elle était en état de distinguer les chiffres et les aiguilles d'une montre, un écriteau de location à une fenêtre située de l'autre côté de la rue, et, en passant en voiture, des bougies, des bijoux dans les étalages des boutiques. Les premiers objets qu'elle apprit à reconnaître comme tels étaient, soit mobiles, tels que des personnes, soit remarquables par leurs couleurs, comme des portes rougeâtres, une orange, les vêtements d'une femme. Il est, du reste, également remarquable combien les enfants nouveau-nés apprennent plus rapidement à distinguer et à suivre du regard les personnes et leurs figures que les autres objets. Les personnes attirent naturellement bien plus l'intérêt que le reste et se distinguent essentiellement des autres objets du champ visuel, par le genre de mouvements qu'elles exécutent. Par ces mouvements, elles sont caractérisées comme un tout cohérent, et le visage, sous forme de tache blanc rougeâtre, avec les deux yeux brillants, est assurément une partie de cette image qui doit être facilement reconnaissable, même lorsqu'on ne l'a pas encore vu souvent.

Quant à la faculté de distinguer des formes, point qui nous intéresserait spécialement ici, il est évident que, dans un cas de ce genre, la principale difficulté

doit consister à connaître les projections perspectives variables des objets solides. En effet, l'aveugle ne se fait évidemment aucune idée de la possibilité d'une semblable projection. Mais il résulte de quelques passages de la relation que la dame ne savait même pas reconnaître des formes qui n'étaient pas modifiées par la perspective, comme, par exemple, le porte-crayon et la clef. Vue de face, cette dernière, avec son panneton et son anneau, devait se dessiner sur la rétine, sous la forme qu'elle présente au toucher. S'il existait donc une faculté innée de reconnaître les formes des images rétiniennes, telle que l'exige la théorie nativistique, l'anneau et le panneton auraient dû permettre de reconnaître la clef. Dans le même sens, j'insisterai sur l'incapacité, souvent mentionnée par Wardrop, de porter le regard ou la main sur un objet vu indirectement. Si l'on connaissait déjà, par une notion innée, la direction des lignes qui joignent l'image centrale aux images latérales de la rétine, il n'aurait sans doute pas été bien difficile de promener le regard le long de la ligne de jonction, en suivant les images qui s'y forment, de manière à atteindre finalement le point cherché.

Je crois qu'il ne faut pas attacher grande valeur à l'objection qui consisterait à dire que cette dame, dix-huit jours après l'opération, savait distinguer les formes simples. En promenant le regard suivant le périmètre d'un cercle, d'un rectangle allongé ou d'un carré, on doit sans doute pouvoir apprendre bientôt, dans des conditions analogues, à distinguer un contour rectiligne d'avec un autre qui ne l'est pas, à reconnaître un angle, à savoir si le regard se dirige de haut en bas ou de droite à gauche, etc.; ce qui suffirait pour reconnaître les figures dont nous avons parlé. A cet effet, il est seulement nécessaire de promener le regard le long d'un contour continu, ce qui est évidemment plus facile que de le diriger vers un objet situé dans une partie latérale du champ visuel. On peut expliquer de la même manière que la dame ait reconnu le nez, comme une proéminence sur la tache rougeâtre que formait le visage de son frère dans le champ visuel. Quant à la montre qu'elle examina le premier soir, elle la tenait à la main et la reconnaissait, par conséquent, à l'aide du toucher; elle n'avait pas désigné comme tels les chiffres et les aiguilles; elle avait seulement remarqué que ces parties se reconnaissaient à la vue, tandis qu'elles échappaient au toucher, lorsque le doigt se promenait sur le verre. Il lui était possible de montrer ces parties en amenant l'image de son doigt, qu'elle connaissait déjà, jusqu'à l'image de ces objets obscurs.

D'un autre côté, la rapidité avec laquelle la patiente apprit à voir certaines choses me paraît avoir été trop grande pour donner lieu de croire que les signes locaux des points rétiniens sont des signes discontinus et sans ordre, pour lesquels il faudrait d'abord apprendre, par l'expérience, quels sont les signes locaux qui appartiennent à des points rétiniens voisins. Mais si les signes locaux sont des grandeurs variant d'une manière continue sur le champ de la rétine, les points rétiniens voisins doivent être caractérisés comme tels dans la sensation, sans aucune expérience préalable. Ce n'est que s'il en est ainsi, que la sensation d'une partie de surface rétinienne éclairée peut être immédiatement perçue comme éclairage d'une surface continue dans le champ visuel, sans qu'il soit besoin d'une expérience préalable pour apprendre que les signes locaux des fibres excitées de la

rétine appartiennent à des extrémités nerveuses contiguës, et non pas à des éléments disséminés dans le champ (1).

La question de savoir si la connaissance des dimensions dans le champ visuel est innée ou acquise a été chaudement discutée par les sensualistes du siècle dernier. MOLYNEUX souleva la question de savoir si un aveugle-né qui a appris à distinguer, par le toucher, un cube d'une boule, pourrait les distinguer immédiatement par la vue, s'il recouvrait ce sens. MOLYNEUX et LOCKE (2) se déclarèrent tous les deux pour la négative. JURIN (3) fut du même avis, en ajoutant toutefois que s'il était permis à l'aveugle-né de regarder les dés et les boules suivant différentes directions, il pourrait les distinguer, parce que les dés présenteraient des images variables tandis que les boules présenteraient toujours la même image. Cette opinion, d'après laquelle toute connaissance de forme, dans les perceptions visuelles, reposerait sur l'expérience et sur la comparaison avec le toucher, fut généralement admise pendant le siècle dernier, en tant qu'on s'occupa, en général, de cette question. Plus tard, sous l'influence de la théorie de KANT, qui considère l'espace comme une forme innée de notre perception, JOHANNES MÜLLER (4) émit l'opinion contraire. D'après lui, le toucher et la vue reposent sur les mêmes notions fondamentales de la situation de nos propres organes dans l'espace. Il part donc de l'hypothèse d'une connaissance innée des dimensions des parties sensibles de la rétine et de leur disposition, connaissance d'où résulteraient immédiatement dans la sensation les mensurations primitives de l'image superficielle que nous voyons. D'après lui, l'extérioration, l'appréciation des distances, la forme solide des objets seraient seules des résultats de l'expérience. Extériorer, c'est, d'après J. MÜLLER, concevoir les objets comme situés en dehors de nous. Or nous voyons, à chaque instant, des parties de notre corps qui se représentent sur notre rétine, nous nous assurons qu'elles font partie de nous-mêmes, et que leurs mouvements dépendent immédiatement de notre volonté. Les autres objets que nous voyons sont variables, et nous les considérons, par conséquent, comme n'appartenant pas à notre corps, ou situés en dehors de lui. Nous apprenons ultérieurement à réunir, dans notre représentation, les deux localisations obtenues par le toucher de la peau et par la vision de la rétine. Cependant J. MÜLLER reconnaît que cela doit paraître étonnant au point de vue de sa théorie ; il compare cet effet d'expérience avec les perceptions que nous obtenons par l'effet simultané du toucher et de l'aspect de notre corps dans un miroir (par exemple lorsqu'on se rase). Quant au problème de la vision droite malgré la position renversée de nos images rétiniennes, d'après MÜLLER tous les objets nous paraissent réellement renversés, et s'il ne se présente pas de contradiction, c'est que notre propre corps et toutes les parties que nous en reconnaissons par le toucher nous paraissent également renversés. Ainsi, d'après cette opinion, notre faculté de représentation ne projette pas les images dans l'espace extérieur, mais l'espace de nos notions est en nous, et c'est là que nous reportons les perceptions des objets. UEBERWEG (5) a développé d'une manière encore plus approfondie ce côté de la théorie de MÜLLER, tandis que HERING (6) fait de cet espace notionnel un espace à trois dimensions et a ajouté, pour déduire de nos notions cette troisième dimension, des hypothèses particulières dont il ne pourra être question que dans les paragraphes suivants. Ce dernier, dans son chapitre de la stéréoscopie monoculaire, soutient l'opinion d'après laquelle la rétine se conçoit elle-même dans l'espace, et va jusqu'à prétendre que la distance même de ses points est appréciée d'après la corde rectiligne et non d'après l'arc. On a déjà vu plus haut que cette opinion ne peut servir à l'explication des illusions d'optique qu'elle a pour objet d'expliquer ; elle me paraît également en contradiction avec l'hypothèse des §§ 118 et 124 du même ouvrage,

---

(1) Autres cas : GRANT, in *Voigt's Magaz.*, IV, 1, p. 21. — HOFBAUER, *Beiträge*, II, 2, p. 249. — WARE, in *Phil. Trans.*, 1801, p. 332. — HOME, in *Phil. Trans.*, 1807, I, p. 834 ; *Bibl. Britann.*, 1808, XXXVII, p. 85. — TRINCHINETTI, in *Arch. des sc. phys. et nat. de Genève*, VI, 336 ; *Giorn. d. ist. Lomb.*, 1847, fasc. 46 e 47.

(2) Essay concerning human understanding, II, ch. 9, § 8. — BERKELEY, New Theory of vision, 1709, section 79.

(3) SMITH'S Opticks, Remarks, p. 27. — De même, PRIESTLEY, Geschichte der Optik, II, 512 der deutschen Uebersetzung.

(4) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinns, Leipzig, 1826. — Handbuch der Physiologie des Menschen, Coblenz, 1840, II, p. 362.

(5) *Zeitschrift für rationelle Medicin*, 3, V, p. 268-282.

(6) Beiträge zur Physiologie, Leipzig, 1864.

d'après laquelle le lieu apparent des points vus d'une manière concordante et identique avec les deux rétines serait un plan.

Les opinions d'après lesquelles ce serait par une faculté innée que nous projetterions les images suivant des lignes extérieures déterminées s'appuient également sur l'hypothèse d'une connaissance immédiate des distances sur la rétine, qui servirait de base à la distribution des points dans le champ visuel. PORTERFIELD (1) et BARTELS (2) ont fait faire ces projections suivant des normales aux rétines, VOLKMANN (3) fait jouer ce rôle aux lignes de direction, c'est-à-dire à des lignes qui passent par les points nodaux postérieurs. Ainsi ces deux opinions admettent le secours de connaissances innées, tout au moins pour l'appréciation des distances angulaires dans le champ visuel ; TOURTUAL (4) émet la même opinion. Plus tard, VOLKMANN a spécifié encore davantage son opinion en admettant que la grandeur apparente des angles visuels dans le champ visuel dépende du nombre d'éléments nerveux sensibles qui se trouveraient sur l'intervalle correspondant de la rétine (5). L'opinion de VOLKMANN a servi de base à un grand nombre de travaux récents sur la physiologie de l'œil ; ainsi RECKLINGHAUSEN (6), entre autres, s'en sert pour expliquer l'aberration du méridien vertical apparent, ainsi que d'autres illusions d'optique, en cherchant à démontrer la possibilité de déformations correspondantes de l'image rétinienne.

Les opinions de HERBART sur les perceptions sensuelles furent, du côté philosophique, le prélude du retour des physiologistes à l'opinion ancienne, d'après laquelle toute appréciation d'étendue repose sur l'expérience. Ce fut son principe métaphysique de l'unité de l'âme qui amena HERBART à considérer toutes les représentations comme des processus qualitatifs qui se succéderaient dans le temps sans pouvoir coexister. Aussi dut-il déduire du mouvement toutes les notions d'espace et lui fallut-il considérer comme qualitatives les différences locales de la sensation. Ce fut notamment LOTZE qui chercha à appliquer ces idées à l'étude des faits que présentent les perceptions sensuelles ; les premiers physiologistes qui le suivirent dans cette voie furent MEISSNER (7) et CZERMAK (8), dans leurs recherches sur le sens du toucher. Dans l'optique physiologique, ce fut l'étude des mouvements de l'œil qui ramena d'abord l'attention dans cette direction. L'un des premiers pas exécutés dans ce sens fut l'opinion établie par BRÜCKE sur l'influence des mouvements dans la vision stéréoscopique, opinion qui sera étudiée dans les paragraphes suivants. Moi-même, j'ai exposé la question sous ce point de vue, dans une conférence populaire (9). C'est à W. WUNDT (10) que revient le mérite d'avoir cherché le premier, d'une manière un peu complète, à déduire des mouvements de l'œil la formation du champ visuel, problème dont l'existence et l'importance étaient presque totalement tombées dans l'oubli. Il considère comme signes locaux, les modifications qualitatives de la sensation sur les différentes parties de la rétine, modifications observées par PURKINJE, AUBERT et SCHELSKE, et dont il a été question plus haut (p. 399 et 400). Je ne me suis pas servi de cette hypothèse dans l'exposé que j'ai présenté plus haut, parce que je ne vois pas comment on pourrait, par exemple, distinguer localement l'impression du noir au milieu du champ d'avec celle du rouge vers son bord, sans le secours d'autre différence locale que celle d'après laquelle le rouge paraît rouge au milieu du champ et noir sur le bord. Quant à l'appréciation des distances dans le champ visuel, WUNDT la déduit de la conscience de l'effort musculaire qui est nécessaire pour parcourir ce champ avec le regard. Mais l'expérience nous apprenant que l'appréciation des efforts musculaires ne présente quelque certitude que lorsqu'on peut comparer continuellement les effets de ces efforts avec les images visuelles, j'ai cru devoir prendre pour point de départ les expériences possibles sur la congruence de lignes égales ayant des directions correspondantes. Cette hypothèse me paraît confirmée par

(1) On the eye, II, 285.
(2) Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes, Berlin, 1834.
(3) Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes, Leipzig, 1836.
(4) Die Sinne des Menschen, Münster, 1827.
(5) *Berichte der kön. Sächs. Ges. der Wissenschaften*, 30. April, 1853.
(6) *Archiv für Ophthalmologie*, V, 2, p. 127. — *Poggendorff's Annalen*, CX, 65-92.
(7) Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Haut, Leipzig, 1852. — *Zeitschrift für rationelle Medicin*, 2, IV, p. 260.
(8) *Sitzungsberichte der k. k. Akademie der Wiss. zu Wien*, 1855, XV, 466 ; XVII, 577. — *Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen*, I, 183.
(9) Ueber das Sehen des Menschen, Leipzig, 1855.
(10) Beiträge zur Theorie des Sinneswahrnehmung, Leipzig u. Heidelberg, 1862. Extrait de : *Zeitschr. für rat. Medicin*, 1858-1862.

l'expérience d'après laquelle on peut comparer avec certitude et exactitude les distances dont la direction est concordante, ce qui n'est pas possible pour celles dont les directions ne concordent pas. Cela n'exclut assurément pas l'utilisation de la conscience de l'effort musculaire, à laquelle WUNDT a eu recours.

Les recherches sur l'exactitude de l'évaluation oculaire ont dû leur impulsion à la loi de E. H. WEBER (1), désignée plus tard par FECHNER (2) sous le nom de loi psychophysique, et d'après laquelle les plus petites différences perceptibles sont proportionnelles aux grandeurs perçues. Outre les deux observateurs précités, VOLKMANN (3), en particulier, a également exécuté avec soin un grand nombre de mensurations. F. HEGELMAYER a recherché l'influence du temps qui s'écoule entre deux comparaisons successives de ce genre.

A. FICK a, le premier (5), remarqué l'erreur constante des comparaisons entre les distances horizontales et les distances verticales; RECKLINGHAUSEN (6) a découvert l'aberration constante du méridien vertical apparent et la courbure apparente de la ligne droite dans les parties périphériques du champ visuel. Les illusions d'optique provoquées par les dessins linéaires ont été observées d'abord par ZÖLLNER (7) qui a été suivi dans cette voie par HERING (8), A. KUNDT (9) et AUBERT (10).

Nous avons déjà donné (p. 300-304) l'historique ancien et la bibliographie des recherches sur la tache aveugle, relatives principalement à la démonstration du fait et à l'explication physiologique de la cécité de cet endroit. Les recherches sur la manière dont nous comblons la lacune dans notre représentation, commencent avec E. H. WEBER (11), auquel se sont ralliés A. FICK, P. DU BOIS REYMOND (12) et VOLKMANN (13); ces physiologistes ont presque exclusivement observé la localisation exacte des objets vus autour de la tache et ont déclaré que c'est psychologiquement que cette lacune se comble. WITTICH (14), d'une autre part, rapporta des observations de localisation erronée, tandis que FUNCKE (15) fit remarquer la possibilité et l'existence de différences individuelles sous ce rapport.

1709. BERKELEY, New Theory of vision, section 79.
— LOCKE, Essay concerning human understanding, II, cap. 9, § 8.
1738. SMITH'S Opticks, Remarks, p. 27.
1759. PORTERFIELD, On the eye, II, 285.
1772. PRIESTLEY, Geschichte der Optik, II, 512 der deutschen Uebersetzung.
1801. J. WARE, Case of a young gentleman who recovered his sight, in *Phil. Trans.*, for 1801, XCI, p. 382-396.
1811. STEINBUCH, Beiträge zur Physiologie der Sinne.
1826. J. MÜLLER, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns, Leipzig, 1.

---

(1) Ueber den Tastsinn und das Gemeingefühl, p. 559, in *Wagner's physiologisches Wörterbuch*. — *Programmata collecta*, Fasc. III, 1851. — *Berichte der sächs. Societät*, 1852, p. 85 ff.

(2) Elemente der Psychophysik, Leipzig, 1860, I, p. 211-236.

(3) *Berichte der Sächsischen Soc.*, 1858, p. 140. — Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik, Leipzig, 1863, Heft I, p. 117-139.

(4) *Vierordt's Archiv*, XI, p. 844-853.

(5) De errore quodam optico asymmetria bulbi effecto, Marburg, 1851. — Auszug in *Zeitschrift für rationelle Medicin*, 2, II, p. 83.

(6) Dans les mémoires déjà cités.

(7) *Poggendorff's Annalen*, CX, p. 500-523.

(8) Beiträge zur Physiologie, Leipzig, 1861, Heft I, p. 65-80.

(9) *Poggendorff's Annalen*, CXX, p. 118.

(10) Physiologie der Netzhaut, Breslau, 1865, p. 269-271.

(11) Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge, in *Verh. der Sächsischen Ges.*, 1852, p. 138.

(12) *Müller's Archiv für Anat.*, 1853, p. 396.

(13) *Berichte der Königl. Sächs. Ges.*, 30. April 1853, p. 40.

(14) *Archiv für Ophthalmologie*, 1863, IX. 3, p. 1-31.

(15) *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br.*, III, Heft 3, pp. 12, 13.

1826. J. Wardrop, Case of a lady, born blind, in *Phil. Trans.*, 1826, III, 529-540.
1827. Tourtual, Die Sinne des Menschen, Münster.
1834. Bartels, Beiträge zur Physiologie des Gesichtsinns, Berlin.
1836. Volkmann, Beiträge zur Physiologie des Gesichtsinns, Leipzig.
1840. J. Müller, Handbuch der Physiologie des Menschen, Coblenz, II, p. 362.
1847. Trinchinetti, Observations sur les premières impressions visuelles, aperçues par deux aveugles de naissance après l'opération de la cataracte, in *Arch. des sciences phys. et nat.*, VI, 336. — *Giornale dell' istituto Lombardo*, 1847, fasc. 46 e 47.
1849. Waller, Sur un cas, où la vue altérée faisait voir les objets plus petits que nature, in *Institut*, XVII, nº 787, p. 39.
1851. E. H. Weber, Programmata collecta, Fasc. III. — Ueber den Tastsinn und das Gemeingefühl, in *R. Wagner's Wörterbuch der Physiologie*, p. 559.
— Fick, De errore quodam optico assymmetria bulbi effecto, Marburg. — Extrait, in *Zeitschr. für ration. Medicin*, 2, II, p. 83,
1852. E. H. Weber, Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge, in *Berichte der sächsischen Societät*, p. 85 ff.
1853. E. H. Weber, Ueber Grösse, Lage und Gestalt des sogenannten blinden Flecks im Auge und die davon abhängigen Erscheinungen, in *Berichte der sächs. Soc.*, 1853, p. 149-158. — *Fechner's Centralblatt*, 1853, p. 929-941.
— A. Fick und P. du Bois Reymond, Ueber die unempfindliche Stelle der Netzhaut im menschlichen Auge, in *Müller's Archiv für Anat. und Physiol.*, 1853, p. 396-407. — *Fechner's Centralblatt*, 1854, p. 57-72.
— A. W. Volkmann, Ueber einige Gesichtsphänomene, welche mit dem Vorhandensein eines unempfindlichen Fleckes im Auge zuzammenhängen, in *Berichte der sächs. Soc.*, 1853, p. 27-50. — *Fechner's Centralblatt*, 1854, p. 57-72.
1854. J. Czermak, Ueber die unempfindliche Stelle der Retina im menschlichen Auge, in *Wiener Ber.*, XII, 358-364.
1855. J. J. Oppel, Ueber geometrisch-optische Täuschungen, in *Jahresber. d. Frankfurter Vereins*, 1854-55, p. 37-47.
— H. Aubert, Ueber den blinden Fleck, in *Jahresber d. schles. Ges.*, 1854, p. 25-28.
— Budge, Beobachtungen über die blinde Stelle der Netzhaut, in *Verhandl. des naturhist. Vereins der Rheinlande*, 1855, p. XLI.
1856. Aubert und Förster, Ueber den Raumsinn der Netzhaut, in *Jahresber. d. schlesischen Ges.*, 1856, p. 33-34.
1858. A. W. Volkmann, Ueber den Einfluss der Uebung auf das Erkennen räumlicher Distanzen, in *Leipziger Ber.*, X, 38-69.
— A. W. Volkmann, Ueber das Vermögen, Grössenverhältnisse zu schätzen, in *Leipziger Ber.*, X, 173-204.
— G. T. Fechner, Ueber ein psychophysisches Grundgesetz, in *Abhandl. d. Leipziger Ges.*, VI, 457-532.
— J. J. Oppel, Nachlese zu den geometrisch-optischen Täuschungen, in *Jahresber. d. Frankf. Vereins*, 1856-57, p. 47-55; 1860-61, p. 26-37.
— Ueberweg, Zur Theorie der Richtung des Sehens, in *Zeitschr. für ration. Medicin*, 3, V, p. 268-282.
1859. F. v. Recklinghausen, Netzhautfunctionen, in *Archiv für Ophthalmologie*, V, 2, p. 127-179. — *Poggend. Ann.*, CX, 65-92.
— Hegelmayer, Ueber Sinnengedächtniss, in *Vierordt's Archiv*, XI, p. 844-853.
1860. F. Zöllner, Ueber eine neue Art von Pseudoskopie, in *Poggend. Ann.*, CX, 500-525. — *Cosmos*, XVIII, 289-290. — *Zeitschr. für Naturw.*, XVI, 60-63.
1861. E. Hering, Beiträge zur Physiologie, Leipzig, Heft 1, p. 65-80.
— E. Mach, Ueber das Sehen von Lagen und Winkeln durch die Bewegung des Auges, in *Wien. Ber.*, XLIII, 2, p. 215-224.
— F. Zöllner, Ueber die Abhängigkeit der pseudoskopischen Ablenkung paralleler Linien von dem Neigungswinkel der sie durchschneidenden Querlinien, in *Poggend. Ann.*, CXIV, 587-591.
— E. Bacaloglo, Ueber die von Herrn Zöllner beschriebene Pseudoskopie, in *Poggend. Ann.*, CXIII, 333-336. — *Zeitschr. für Naturw.*, XVIII, 445.
1862. Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmungen, Leipzig u. Heidelberg, 1862. — *Zeitschr. für ration. Medicin*, 1858-1862.
1863. A. W. Volkmann, Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik, Leipzig, 1863. Heft I, 139-180.

1864. v. Wittich, Studien über den blinden Fleck, in *Archiv für Ophthalmologie*, IX, 3, p. 9-46.
— O. Funke, Zur Lehre vom blinden Fleck, in *Berichte der naturf. Ges. zu Freiburg im Breisgau*, III, Heft 3.
1865. Aubert, Physiologie der Netzhaut, Breslau, 1865, p. 269-271.

§ 29. — Des directions de la vision.

Les faits que nous avons mentionnés jusqu'ici ne se rapportent qu'à la position relative des différents points lumineux dans le champ de vision. Il nous reste encore à parler de l'appréciation de leur position absolue dans ce champ. A cet égard, il nous faut distinguer deux choses. En général, la direction d'une ligne est donnée par les deux angles qu'elle forme avec les directions de deux axes ou de deux plans convenablement choisis, sans qu'elle soit assujettie à passer par un point déterminé. Nous attribuons la *même direction* à toutes les lignes parallèles à une ligne ainsi définie. C'est ainsi que toutes les aiguilles aimantées, suspendues dans une même ville, possèdent la *même direction* du nord au sud. Il n'en est plus de même lorsque nous rapportons toutes les directions à un centre déterminé, et non plus, d'une manière générale, à un système déterminé de coordonnées, tel que celui formé dans une ville par la verticale, le méridien terrestre et la perpendiculaire à ce méridien menée dans le plan horizontal. D'après ce nouveau système, les directions doivent être représentées par des lignes droites complétement déterminées qui passent par le centre choisi et dont la direction doit, de plus, être déterminée par deux angles formés avec des axes fixes convenablement choisis. Ici la direction d'une ligne ne peut plus être définie par une autre ligne, parallèle à celle-là, et présentant *la même direction :* elle doit présenter une *position* ou une *direction identique*, c'est-à-dire que, suffisamment prolongée, elle doit coïncider complétement avec la première ligne.

Tant qu'il ne s'agit que de *directions pareilles*, il suffit donc de déterminer des angles qui définissent la position ; mais pour que la *position* ou la *direction* soient *identiques*, il faut encore spécifier le point qui doit servir de centre. On peut dire que, dans le premier cas, on détermine la *direction* seulement et, dans le second, une *ligne de direction* déterminée.

Lorsque nous parlons des directions de la vision, nous les rapportons évidemment à un centre, qui est notre corps et sa position dans l'espace. Cependant il existe tout un ordre d'objets dont la vision est indépendante de la détermination du centre des lignes de direction. Ce sont notamment tous les objets lointains, tels que les étoiles, les montagnes

ou les bâtiments très-éloignés. En effet, de semblables objets présentent nécessairement aussi des dimensions considérables, et toute ligne de direction menée parallèlement à une certaine direction déterminée par un point quelconque de notre tête ou même de notre corps, parvient toujours à l'objet.

Si l'on fait abstraction des illusions dont il a été question jusqu'ici, la position des objets dans le champ visuel se trouve déterminée, en général, dès qu'on connaît la position de la ligne de regard et celle d'un méridien quelconque passant par le point de regard.

La position du point de regard varie avec la position de l'œil par rapport à la tête, et respectivement par rapport au corps; cependant nous sommes généralement à même d'apprécier exactement les directions successives de la ligne de regard. On a nommé *conscience musculaire* les sensations qui nous permettent de percevoir les modifications que subit la position des parties de notre corps par suite de l'action des muscles. Mais il faut distinguer, sous cette dénomination, un grand nombre de sensations essentiellement différentes. Ainsi nous pouvons percevoir :

1° L'*intensité de l'effort de volonté* par lequel nous cherchons à faire agir les muscles;

2° La *tension des muscles*, c'est-à-dire la force avec laquelle ces muscles cherchent à agir;

3° Le *résultat de l'effort*, qui, indépendamment de sa perceptibilité par d'autres sens, notamment la vue et le toucher, se traduit extérieurement par un raccourcissement effectif du muscle et qui peut se manifester aussi par la sensation d'un changement de tension dans la peau qui le recouvre.

Ainsi, lorsque certains muscles sont très-fatigués, je puis avoir conscience de faire le plus grand effort de volonté possible pour les tendre, tout en sachant que leur contraction ne suffit plus pour atteindre le résultat désiré. D'un autre côté, avec des muscles puissants, il me suffit d'un médiocre effort de volonté pour produire une tension considérable du muscle, tout en étant empêché, par quelque cause extérieure, d'atteindre le résultat désiré. Tous ces cas se distinguent, dans la perception, de celui où j'atteins réellement le résultat, et dans la théorie de la conscience musculaire, il nous faut aussi les distinguer les uns des autres.

Nous nous bornerons naturellement ici à examiner les circonstances qui se présentent pour l'œil.

D'abord nous savons, par des expériences connues, que nous cessons d'apprécier la direction de notre regard d'après la position véritable de

notre œil, toutes les fois que cette position est modifiée par des forces autres que celles de nos muscles. Lorsqu'on presse sur la partie du globe oculaire qui est recouverte par les paupières, ou que l'on tire sur la peau qui entoure cet organe, on produit de légères modifications dans la position de l'œil. La manière la plus facile de répéter cette expérience consiste à pincer un repli de la peau à l'angle externe de l'œil, puis à tourner le regard en dedans, de manière à tendre du côté externe la conjonctive qui recouvre le globe oculaire. Si l'on ouvre alors les deux yeux, on obtient des images doubles : l'image de l'œil sur lequel on agit ne coïncide pas avec celle de l'autre. Si l'on n'ouvre que l'œil qu'on tiraille, à chaque traction exercée sur le repli de la peau répond un mouvement apparent des objets dans le champ visuel. Chaque traction exercée directement en dehors sur l'œil droit communique aux objets un mouvement apparent à gauche. La direction de la ligne visuelle se déplace vers la droite, mais nous jugeons la position des objets comme si la traction n'avait pas changé la direction de cette ligne.

C'est par un effet correspondant que la position des images accidentelles produites dans l'œil fermé, ou projetées sur un écran uniforme et non limité, ne paraît pas varier par l'effet d'une traction extérieure, tandis qu'en réalité ces images se déplacent avec l'œil.

Par contre, pendant l'action d'une semblable traction extérieure, les mouvements de l'œil provoqués par les muscles ne modifient nullement la position apparente des objets extérieurs, tandis que les images accidentelles paraissent se déplacer sous l'influence de ces mouvements.

Lorsque, par une traction extérieure, on tourne ainsi le globe oculaire en dehors, le muscle droit interne s'allonge et le droit externe se raccourcit de la même quantité que lorsque la rotation est produite par une action musculaire. Car, même à l'état de repos, les muscles sont des bandes élastiques qui se raccourcissent toujours autant que le permet la position de leurs points d'insertion.

On voit donc que nous n'apprécions la position de notre ligne visuelle ni d'après la position véritable du globe oculaire, ni d'après l'allongement ou le raccourcissement que les muscles subissent en réalité par suite de cette position.

Notre appréciation de la position de la ligne visuelle ne se fonde pas davantage sur la tension des muscles de l'œil. — En effet, dans les cas de paralysie subite de quelques muscles de l'œil, lorsque les malades s'efforcent d'amener l'œil dans une position qu'il ne peut plus atteindre, ils voient des mouvements apparents qui sont accompagnés de diplopie dès qu'ils ouvrent l'autre œil. Prenons pour exemple une paralysie du

moteur oculaire externe de l'œil droit, ou du nerf correspondant ; l'œil ne peut plus se porter dans l'abduction. Tant que le patient le tourne en dedans, il peut encore lui imprimer des mouvements réguliers, et perçoit exactement la position des objets dans le champ visuel. Mais dès qu'il cherche à le diriger en dehors, c'est-à-dire à droite, l'organe n'obéit plus à la volonté, il s'arrête à moitié chemin et les objets paraissent se déplacer à droite, bien que l'œil et les images rétiniennes qui s'y produisent ne changent pas de position.

Dans un pareil cas de paralysie, l'effort de volonté ne produit ni mouvement de l'œil, ni raccourcissement des muscles qui devraient agir, ni augmentation de leur tension. L'acte volontaire ne se traduit par rien en dehors du système nerveux, et cependant nous jugeons la direction de la ligne visuelle comme si la volonté avait exercé ses effets normaux ; dans l'exemple cité, nous croyons que la ligne visuelle s'est déplacée à droite, et comme les images rétiniennes ne changent pas de position sur la rétine de l'œil paralysé, nous croyons voir les objets participer au mouvement que nous attribuons d'une manière erronée au globe oculaire.

Lorsque la paralysie n'est pas complète, de manière que l'œil puisse encore fixer un objet situé à droite, mais au prix d'une plus grande innervation du muscle paralysé que dans l'état normal, il se produit encore une représentation fausse de la position de la ligne visuelle et de celle de l'objet ; c'est ce qu'on reconnaît en engageant le patient à porter vivement la main sur l'objet considéré : il commence par saisir dans le vide (1).

D'après ces phénomènes, il est hors de doute que nous n'apprécions la direction de la ligne visuelle que par l'effort de volonté à l'aide duquel nous cherchons à changer la position de l'œil. Le déplacement de la cornée sous les paupières est assurément accompagné de certaines sensations qui pourraient nous renseigner, jusqu'à un certain point, sur la position réelle de l'œil ; de plus, les déplacements latéraux exagérés de l'œil entraînent une tension fatigante dans les muscles ; mais toutes ces sensations paraissent trop faibles et trop vagues pour pouvoir être utilisées dans la perception de la direction.

Nous savons donc quelle est la direction et la force de l'impulsion volontaire qui nous est nécessaire pour amener l'œil dans toute position voulue. Comme, dans les conditions normales ordinaires, le mouvement

(1) A. v. GRAEFE, in *Arch. für Ophthalmologie*, I, 1, p. 67, Remarque. — A. NAGEL, Das Sehen mit zwei Augen, 1861, p. 124-129. — Alfred GRAEFE, in *Arch. für Ophthalmologie*, XI, 2, p. 6-16.

de l'œil ne subit aucun obstacle étranger, on peut, le plus souvent, juger suffisamment l'effet d'après la force de l'impulsion volontaire ; cette appréciation est, du moins, bien plus parfaite qu'elle ne pourrait l'être pour nos extrémités et pour la plupart des autres parties mobiles du corps. Le seul effet de l'impulsion volontaire que nous puissions percevoir sur l'œil, d'une manière directe et suffisamment nette, c'est le changement de position des objets dans le champ visuel, qui accompagne le déplacement de l'œil. On peut démontrer, de plus, que nous nous servons continuellement de ces changements de l'image pour vérifier l'exactitude de la relation qui doit exister entre l'impulsion de la volonté et ses effets.

Ajustons dans une monture de lunettes deux prismes de verre, dont les angles réfringents soient de 16° à 18°, ces deux angles étant tournés à gauche. Vus à travers ces prismes, les objets du champ visuel paraissent tous déplacés vers la gauche. Évitant d'abord d'amener la main dans le champ visuel, qu'on regarde attentivement un objet qui soit à portée de la main, puis, après avoir fermé les yeux, qu'on essaye de toucher l'objet avec le doigt indicateur, on passe naturellement à gauche. Mais lorsqu'on a répété ces expériences pendant quelque temps ou encore plus rapidement, lorsqu'on amène la main dans le champ visuel et qu'on touche pendant quelque temps les objets, sous la direction du regard, on voit qu'en recommençant l'expérience avec les yeux fermés, on ne passe plus à côté des objets, mais qu'on les atteint exactement ; il en est de même pour d'autres objets qu'on amène à la place de ceux qu'on a déjà examinés. Lorsqu'on en est arrivé à ce point, qu'on retire la main, et, après avoir regardé un objet pendant quelque temps sans l'intermédiaire des prismes, qu'on essaye de le saisir en tenant les yeux fermés : on trouve que la main passe à droite jusqu'à ce que plusieurs tentatives infructueuses aient rectifié l'appréciation de la position occupée par les yeux (1).

Pour s'assurer que ce n'est pas le sentiment musculaire de la main, ni l'appréciation de sa position, mais bien l'appréciation de la position du regard qui a été faussée, il suffit, lorsqu'on s'est habitué, en présence des prismes, à atteindre les objets avec la main droite, de faire l'expérience avec la main gauche, en fermant les yeux : bien que cette main n'ait pas encore paru dans le champ visuel, elle atteint alors les objets avec exactitude et sans hésitation. Ainsi, dans un cas de ce genre, le sens du toucher détermine tout à fait exactement la position des

(1) Czermak indique la même expérience, sous une forme peu différente, in *Wien. Berichte*, XVII, 575-577.

corps, et, d'après cette donnée, on la retrouve, avec certitude, à l'aide d'un autre organe tactile.

L'expérience nous apprend que les enfants de trois mois n'apprennent que très-lentement à diriger leurs mains vers les objets extérieurs, alors qu'ils savent déjà fort bien les porter à la bouche ou vers une partie douloureuse de la peau, c'est-à-dire les diriger à l'aide des sensations tactiles. Ainsi, de même qu'il faut à l'enfant des expériences pour apprendre à connaître l'accord des mouvements de l'œil et de ceux de la main, de même, chez l'adulte, des expériences continuellement répétées sont nécessaires pour contrôler sans cesse l'exactitude de cette relation.

J'ai déjà mentionné plus haut qu'on peut troubler, d'une manière analogue, l'harmonie des mouvements des deux yeux, en faisant monter peu à peu, à l'aide d'un prisme, l'image de l'un des champs visuels ; l'œil sur lequel on opère suit ce mouvement et les deux yeux continuent à voir simple, l'un regardant un peu plus haut que l'autre. Ici encore, on s'habitue bien vite à employer cette position comme position de fixation normale ; et lorsqu'on supprime les prismes, on continue à fixer de la même manière, de sorte qu'on obtient deux images superposées, qui se fusionnent rapidement, aussitôt que la position des yeux s'est rectifiée. Cette expérience montre que c'est également d'après le résultat de la vision que se règle la concordance des mouvements des yeux, puisqu'on s'habitue, dans des circonstances nouvelles, à produire les impulsions volontaires requises pour diriger les deux points de fixation sur le même objet.

Il faut encore mentionner ici l'expérience d'après laquelle, lorsqu'on s'est efforcé pendant quelque temps de fixer des objets mobiles, les objets en repos paraissent se déplacer en sens opposé. La production de ces mouvements apparents a reçu le nom de *vertige*. Lorsque, par exemple, on voyage en chemin de fer et qu'après avoir regardé pendant quelque temps les objets extérieurs voisins de la voie, on dirige ensuite le regard sur le plancher du wagon, celui-ci, qui se trouve à l'état de repos relativement au corps du voyageur, paraît fuir dans le sens du train.

Ces résultats s'expliquent en remarquant que les objets voisins de la voie présentent un mouvement apparent de sens contraire à celui du train. Toutes les fois que le voyageur veut fixer un de ces objets, il lui faut déplacer rapidement les yeux en sens inverse de la marche du train. Une fois habitué à considérer les impulsions volontaires nécessaires dans ces conditions comme appropriées à la fixation d'un objet,

il essaye de fixer de la même manière des objets immobiles. Mais ces impulsions de volonté provoquent des mouvements des yeux, et comme l'observateur croit ses yeux immobiles, les objets lui paraissent se mouvoir, et cela suivant un sens opposé à celui du mouvement objectif examiné préalablement.

Mais si, pendant qu'on regarde au dehors, on fixe d'une manière constante une petite tache de la vitre, le vertige visuel en question ne se reproduit pas, bien qu'on ait encore vu passer des objets mobiles, car on n'a pas exécuté les mouvements nécessaires pour les fixer. D'ailleurs lorsqu'on fixe un point immobile par rapport à l'œil, en présence de la vitesse nécessaire pour cette illusion, les images des objets mobiles se brouillent complétement. On ne peut les distinguer qu'en les suivant un peu du regard. Le plus souvent, les mouvements de l'œil nécessaires à cet effet restent inconscients; c'est pour ce motif que leur existence a échappé à Plateau (1) et à Oppel (2), qui ont fait des observations sur ces phénomènes. Mais l'existence de ces mouvements est démontrée par cette circonstance que les images mobiles se brouillent lorsqu'on maintient l'œil dans une fixation absolue.

D'après une observation que me communique Javal, l'illusion en question devient bien plus saisissante lorsque, accoudé sur la balustrade d'un pont qui passe au-dessus de la voie d'un chemin de fer, on vient d'observer attentivement le passage d'un long train de marchandises, animé d'une vitesse modérée. Aussitôt après la disparition du train, la voie paraît fuir avec vivacité en sens contraire, et cet effet persiste pendant assez longtemps. — Dans ces conditions, l'expérience n'exige pas qu'on change la direction du regard après avoir regardé les objets en mouvement. De plus, et cette circonstance paraît exercer une influence capitale, nous avons une grande habitude de regarder des objets qui se déplacent suivant la ligne qui joint nos yeux, tandis que, dans l'expérience de Javal, le mouvement qu'il faut faire pour examiner les marchandises du train est une rotation autour d'un axe horizontal, que l'expérience de tous les jours ne nous a pas appris à supprimer aussitôt qu'elle devient inutile.

Dans les expériences de ce genre, c'est en supprimant effectivement les mouvements des yeux que nous arrivons à voir de nouveau les objets en repos. Il ne sera peut-être pas superflu d'observer que les personnes affectées de nystagmus ne voient jamais les objets fixes se mouvoir, malgré la persistance de l'oscillation de leur regard : ces

(1) Plateau, in *Pogg. Ann.*, LXXX, 287. — *Bull. de Bruxelles*, XVI.
(2) Oppel, in *Pogg. Ann.*, XCIX, 543.

personnes tiennent compte *d'une manière inconsciente* du mouvement continuel de leurs yeux.

Le vertige des valseurs, qui se produit par suite d'une rotation un peu prolongée du corps autour de son axe longitudinal, est analogue à celui des expériences précédentes. Dès qu'on s'arrête, les objets paraissent, pendant un certain temps, se mouvoir dans le sens suivant lequel on a tourné. Je trouve que si l'on a fermé les yeux pendant le mouvement, cette rotation apparente ne se produit pas lorsqu'on n'ouvre les yeux qu'après s'être réellement arrêté. Si l'on ouvre les yeux au moment où l'on croit s'arrêter, les objets prennent encore un mouvement apparent en *sens contraire* de la rotation du corps ; mais on constate facilement qu'avant d'arriver réellement au repos, le corps exécute encore un quart de tour environ autour des pieds, à partir du moment où l'on croit s'être arrêté ; c'est donc alors une illusion sur la position du corps qui est cause du mouvement apparent des objets. Du reste, ce mouvement apparent en sens opposé de la rotation du corps se présente parfois, lors même qu'on a tourné avec les yeux ouverts, et, en somme, cette expérience est moins nette que les précédentes, où le corps de l'observateur reste immobile.

On a décrit encore d'autres sortes de vertige, où les différentes parties du corps observé se meuvent diversement.—Ainsi, lorsqu'on fait tourner sur un disque la spirale représentée par la figure 15 (p. 501), la spirale paraît se dilater ou se contracter d'une manière continue, selon le sens de sa rotation. Si l'on arrête brusquement le disque, la spirale paraît se contracter un moment, si elle se dilatait pendant le mouvement, et se dilater si elle paraissait se contracter auparavant. De même, les autres objets, comme un papier imprimé, que l'on regarde immédiatement après la spirale, présentent aussi un semblable mouvement de contraction ou de dilatation.

On voit avec bien moins de netteté un mouvement apparent analogue, consécutif à la contemplation d'une figure rotative étoilée, et par lequel le corps objectivement immobile que l'on examine paraît se mouvoir un peu en sens opposé de l'étoile.

Ces derniers mouvements apparents présentent le plus de netteté lorsqu'on dirige le regard sur le centre immobile de l'axe et qu'on regarde à la vision indirecte, la figure mobile, qui ne doit pas tourner assez rapidement pour empêcher d'en distinguer les différents traits, ni assez lentement pour qu'on puisse la percevoir sans aucune difficulté. Si l'on fixe bien invariablement le centre de l'axe et qu'on ne porte l'attention que sur ce point, les parties latérales de la rétine reçoivent, comme précédemment, la figure mobile, mais il ne produit pas de mou-

vement consécutif. Il me semble donc que lorsqu'on porte l'attention sur la figure mobile, il se produit de faibles mouvements des yeux, mouvements probablement circulaires, et dont la direction tend toujours vers la partie du champ visuel sur laquelle se dirige l'attention dans la vision indirecte. Par le fait, sans la présence de pareils mouvements dans le sens de la rotation, la figure ne paraîtrait pas tout à fait aussi nette qu'elle l'est, lorsqu'on l'observe de la manière convenable pour développer le vertige. Quand on dirige ensuite ce genre de regard sur un objet immobile, celui-ci doit naturellement présenter un mouvement apparent en sens inverse.

Tant que nous avons devant nous un grand nombre d'objets immobiles, il est facile de vérifier continuellement, d'après l'observation de ces objets, le degré d'innervation qui est nécessaire pour maintenir l'œil dans des positions déterminées. Mais si les objets mobiles dominent, il est difficile de maintenir exact le jugement que nous portons relativement au repos et au mouvement. Lorsqu'on veut traverser un torrent en marchant sur une poutre, il faut éviter de regarder l'eau, sous peine de s'exposer à perdre l'équilibre. Lorsqu'on approche de la chute du Rhin par la partie inférieure du château de Laufen, et qu'on ne voit rien devant soi que la masse d'eau qui tombe, on éprouve une tendance à tomber en arrière. C'est pour la même raison qu'on est si embarrassé pour marcher sur un vaisseau; on sent l'attraction de la pesanteur se produire tantôt à droite, tantôt à gauche, tantôt en avant, tantôt en arrière, parce qu'on ne sait plus trouver la direction de la verticale. Ce n'est qu'après une longue habitude, comme je l'ai éprouvé sur moi-même, qu'on apprend à se servir de la pesanteur comme moyen d'orientation, et c'est alors que le vertige cesse. Les marins se font souvent un malin plaisir de ne pas abréger les perplexités des nouveaux venus en ne leur donnant pas le conseil, bien connu, de porter constamment le regard à l'horizon, pour conserver la notion de la verticale. Le novice croit voir osciller de côté et d'autre, dans la cabine d'un vaisseau, le baromètre suspendu à des anneaux de Cardan, et qui, en réalité, reste toujours vertical, tandis que la cabine, qui est dans un état d'oscillation continuel, lui paraît immobile. Dès que le vertige a disparu, on voit le baromètre immobile et l'on sent que la cabine oscille. L'atteinte portée à la sûreté de l'innervation des muscles de l'œil est si profonde, qu'une fois débarqués, ceux qui ont eu le mal de mer croient, à chaque mouvement rapide de l'œil, voir les murs de la chambre où ils se trouvent exécuter les mouvements que faisait la cabine du bateau.

Tous ces phénomènes font nettement reconnaître que la force d'innervation nécessaire pour les positions et les mouvements des yeux

demande à être contrôlée d'une manière permanente par l'observation de ses résultats sur les images visuelles, pour que l'appréciation de la la position de la ligne visuelle et des objets fixés puisse se faire exactement.

F. Zöllner (1) a décrit une autre espèce d'illusion qui doit trouver place ici. On dessine un cercle sur une feuille de papier, et, dans une feuille noire et peu flexible, qu'on place sur la précédente, on découpe une fente dont la longueur soit plus grande que le diamètre du cercle et dont la largeur mesure de 1/10 à 3/10 de ce diamètre. On tient immobile la feuille noire, et l'on donne à la feuille inférieure un mouvement de va-et-vient dirigé perpendiculairement à la fente, de telle sorte qu'à chaque oscillation les différentes parties du cercle apparaissent toutes successivement. Dans ces conditions, le cercle présente la forme d'une ellipse dont le grand axe serait perpendiculaire à la direction du mouvement. La raison en est qu'en cherchant à voir la figure mobile, l'observateur la suit des yeux , involontairement et sans le savoir, et avec une vitesse inférieure à celle qu'elle possède en réalité. Il se produit ainsi, sur les différentes bandes de la rétine qui reçoivent l'image de la fente pendant ce mouvement, une suite d'impressions des parties du cercle qui apparaissent successivement, absolument comme dans l'anorthoscope, avec cette différence que, dans cet appareil, l'œil est en repos et la fente se déplace, tandis qu'ici c'est l'œil qui se meut et la fente qui est immobile. La sensation optique est ici la même que si la fente se déplaçait en sens inverse du mouvement de l'œil, et, par conséquent, du mouvement de l'image, et c'est là ce qui produit dans l'anorthoscope un raccourcissement apparent de la figure suivant la direction du mouvement, ainsi qu'on l'a vu plus haut (p. 465-468).

Pour s'assurer que cette illusion est attribuable à des mouvements de l'œil, il suffit de remarquer que, pour la vitesse la plus favorable à sa production, on ne peut absolument plus rien distinguer de la figure dès qu'on fixe invariablement un point du bord de la fente : pour pouvoir distinguer la figure, il faut précisément la suivre du regard. Du reste, ainsi que l'a déjà remarqué Zöllner, on peut parfaitement observer les mouvements qu'effectue l'œil de l'expérimentateur.

Lorsque le cercle passe très-lentement derrière la fente, il paraît au contraire, allongé dans le sens du mouvement. — Ceci provient sans doute de ce que les parties de la circonférence qui se présentent derrière la fente paraissent se rapprocher plus qu'elles ne le font en réalité de la perpendiculaire aux côtés de la fente, à cause de l'augmentation appa-

(1) Ueber eine neue Art anorthoskopischer Zerrbilber, in *Pogg. Ann.*, 1862.

rente des angles aigus. Les éléments de la circonférence affectent donc la direction qu'auraient effectivement ceux d'une ellipse à grand diamètre horizontal qui passerait derrière la fente, et l'observateur croit voir une semblable ellipse.

Après nous être assurés, par tout ce qui précède, que même l'œil formé d'un adulte a besoin d'une comparaison constante avec l'expérience pour maintenir l'accord entre les perceptions de la vue et celles du toucher, la question si rebattue de savoir pourquoi les objets paraissent droits, bien que leurs images rétiniennes soient renversées, se trouve résolue d'elle-même. Le sens du toucher est capable, à lui seul, de nous donner des notions complètes sur l'espace, même sans le concours du sens visuel; l'observation des aveugles-nés suffit pour nous en convaincre. Bien plus, la direction de la pesanteur, qui détermine le haut et le bas, ne s'obtient pas immédiatement par le sens visuel, mais exclusivement par celui du toucher. Admettre que les sensations visuelles seules, sans le concours d'une expérience préalable, soient susceptibles de nous fournir des représentations de directions déterminées des objets que nous voyons, c'est faire, ce me semble, une hypothèse parfaitement inutile; se mettant au point de vue de la *théorie empiristique*, on peut encore bien moins admettre l'hypothèse d'après laquelle l'idée de la direction serait même influencée par l'endroit de la rétine sur lequel se forme l'image, de sorte qu'un point représenté en bas devrait paraître en bas, par cela même; en effet, notre conscience naturelle ignore complétement jusqu'à l'existence de la rétine et la formation des images optiques : comment saurait-elle quelque chose de la position des images qui s'y forment?

Quant à la *théorie nativistique* des perceptions sensuelles, où l'on admet que l'excitation nerveuse peut produire, immédiatement et indépendamment de toute expérience, l'idée d'une certaine position de l'objet perçu, il lui faut admettre que les localisations visuelles innées présentent une certaine harmonie innée avec celles qu'on obtient par le sens du toucher. Parmi les partisans de cette théorie, les uns admettront que les fibres nerveuses qui viennent des parties inférieures des rétines se dirigent vers les parties supérieures du cerveau, et inversement, de manière à y former une image droite de l'objet, que l'âme regarderait; d'autres placeront cet acte dans la rétine, et les sensations tactiles s'y représentant à l'envers, comme les mains et les pieds de l'observateur, ils diront que toutes nos représentations de l'espace sont et restent toujours renversées. Dès qu'on s'engage dans cette voie, le champ est évidemment ouvert aux hypothèses les plus fantastiques.

Je crois qu'en présence des faits qui nous montrent l'utilité d'une expérience de tous les instants pour contrôler constamment l'exactitude de la relation entre la vue et le toucher, il faut renoncer à l'idée d'une harmonie préexistante entre les localisations fournies par ces deux sens; faute de prendre ce parti, on se trouve dans la nécessité embarrassante d'admettre que cette harmonie préexistante et donnée par la sensation immédiate, est modifiée et surmontée à chaque instant par l'expérience, qui est un acte de jugement, à un point tel qu'il ne reste plus aucune trace de cette sensation hypothétique.

La discussion sur la cause de la vision droite ne présente, à mon avis, aucun autre intérêt que celui de nous montrer combien il est difficile, même à des hommes d'une capacité scientifique incontestable, de reconnaître l'existence et la nature de l'élément subjectif de nos perceptions sensuelles, combien il est difficile de considérer ces perceptions comme des actions des objets sur les organes, au lieu d'y rechercher des images intactes des objets, idée que le langage se refuse à exprimer clairement, tant elle est peu naturelle.

Jusqu'ici nous n'avons recherché que les directions suivant lesquelles nous croyonsvoir des objets très-éloignés; il nous reste encore à déterminer le *centre* auquel nous rapportons ces lignes de direction, recherche qui est surtout importante pour l'appréciation de la position des objets voisins. — Autrefois on admettait que chaque œil extériorait les objets suivant les lignes de direction que nous avons définies pages 92 et 93; il en résulterait qu'en général, les objets rapprochés seraient vus sous des directions différentes pour les deux yeux. Mais E. Hering a récemment appelé l'attention, sous ce rapport, sur une illusion remarquable, d'après laquelle nous percevons la direction des objets comme si les deux yeux se trouvaient dans le plan médian de la tête et dirigés vers leur point de fixation commun.

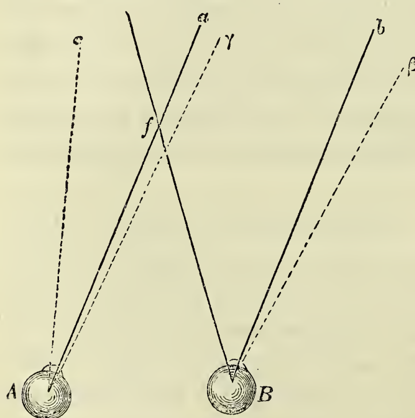


Fig. 187.

Supposons d'abord que deux yeux A et B (fig. 187) regardent suivant des directions parallèles, Aa et Bb, qu'on ferme ensuite l'œil B, tandis que l'œil A continue à fixer l'objet infiniment éloigné a, de sorte

que les directions des yeux restent inaltérées. Dans ces conditions, a apparaît sur sa direction véritable. Qu'on accommode ensuite l'œil A pour un point bien plus rapproché, f, situé sur la ligne Aa, de manière que la position de l'œil A et de sa ligne visuelle Aa, ainsi que la position de l'image du point a sur la rétine de A, restent absolument inaltérées, la seule différence étant une légère diminution de netteté de l'image du point a. Cette expérience est accompagnée d'un mouvement apparent de l'objet a, qui va se placer sur une ligne telle que Ac. Dès que l'on revient à accommoder pour l'infini, a paraît se replacer dans sa première position.

Dans cette expérience la direction de la ligne visuelle Aa ne change pas, ou ne change que d'une quantité négligeable ; il n'y a de variable que la position de l'œil fermé B : lorsqu'on s'efforce d'accommoder pour le point f, la ligne visuelle de l'œil fermé se dirige, en effet, sensiblement vers ce point. Ainsi, pendant qu'on fixe le point f, la ligne visuelle de l'œil B prend à peu près la direction Bf.

Inversement, il m'est possible de faire diverger un peu mes lignes visuelles, même en fermant les yeux, de manière que l'œil B regarde dans la direction $B\beta$. Je ne sais obtenir cette divergence que lentement, et c'est pour cette raison que je ne la vois accompagnée d'aucun mouvement apparent. Il se présente, au contraire, un mouvement de ce genre lorsque je relâche brusquement mon effort de divergence de manière à ramener subitement les lignes visuelles au parallélisme. L'objet a me paraît alors revenir de γ en a.

Ainsi, notre appréciation de la position où se trouve l'objet que nous fixons ne dépend pas seulement de la position de l'œil A qui le regarde, mais aussi de celle de l'œil B, qui est fermé. Lorsque, l'œil ouvert restant immobile, l'œil fermé se déplace à droite ou à gauche, l'objet fixé par l'œil ouvert paraît également se déplacer à droite ou à gauche.

La grandeur de ces déplacements apparents est assez différente pour mes deux yeux : elle est faible lorsque je fais l'expérience en ouvrant l'œil droit ; elle est bien plus considérable pour l'œil gauche. Ainsi la direction de la ligne visuelle se détermine d'après les innervations simultanées des deux yeux et non pas seulement d'après celle de l'œil ouvert. Nous pouvons admettre, d'après cela, que la direction apparente de la ligne visuelle répond, en général, à la direction moyenne des lignes visuelles des deux yeux. Cependant pour les personnes qui sont habituées à appliquer de préférence un de leurs yeux à l'observation microscopique ou télescopique, la direction apparente se rapproche plus de la ligne visuelle de l'œil préféré que de celle de l'autre. Une communication que je reçois de Javal confirme l'opinion que je viens d'émettre. En effet,

cet observateur se souvient d'avoir vu parfaitement, il y a deux ans, les mouvements apparents en question se manifester également sur ses deux yeux, tandis qu'actuellement, après avoir fait de nombreuses expériences qui exigeaient des variations volontaires de l'accommodation de l'œil droit, il ne peut presque plus constater, sur cet œil, le mouvement en question, qui reste très-manifeste pour son œil gauche. — Le phénomène des images doubles nous donnera plus loin des renseignements plus exacts sur la direction simultanée apparente des deux lignes visuelles.

J'ai trouvé, de plus, que la position apparente de l'horizon rétinien, de même que la direction apparente de la ligne visuelle, dépend des torsions des deux yeux.

Voici la manière la plus simple dont il m'ait été possible de réussir les expériences qui se rapportent à cette question. — Sur l'extrémité d'un tube cylindrique d'environ un pied de longueur, je tendis diamétralement un fil noir et j'appliquai l'autre extrémité du tube devant l'un de mes yeux, tandis que l'autre était fermé ; puis, tenant devant l'extrémité antérieure du tube une feuille de papier blanc qui m'empêchait de rien voir dans l'appartement, je cherchai, en faisant tourner le tube autour de son axe longitudinal, à donner au fil noir une direction exactement horizontale ou verticale, et cela pour une position parallèle des lignes de regard, condition que j'ai appris à remplir même en fermant le second œil. En retirant ensuite le papier blanc de l'extrémité antérieure du tube, je pouvais comparer la direction que j'avais donnée au fil, avec celle de différentes lignes objectives, horizontales et verticales, qui se trouvaient dans la chambre. Dans ces expériences, je prenais une position bien fixe dans un fauteuil et j'inclinais la tête, tantôt en avant, tant en arrière, ou je la maintenais verticale, tandis que le tube, sans cesser de rester horizontal, était dirigé tantôt à droite, tantôt à gauche, de sorte que la ligne de regard présentait successivement toutes les positions possibles par rapport à la tête.

Il résulta de ces expériences, faites avec des lignes visuelles parallèles, que pour toutes les positions qu'il était possible d'atteindre sans exercer un trop violent effort, je plaçais véritablement dans une position horizontale la ligne qui me paraissait horizontale, et que la ligne verticale apparente formait seulement avec la verticale véritable un angle égal à celui compris entre le méridien vertical apparent et le méridien vertical réel de l'œil employé.

Il ressort donc, en particulier, de ces expériences, qu'on ne considère pas, dans toute position de l'œil, respectivement comme horizontal et comme vertical, le méridien horizontal primitif, que nous avons appelé

horizon rétinien, et celui qui lui est perpendiculaire (1). Loin de là, dans les positions à la fois latérales et élevées ou abaissées du regard, où l'horizon rétinien fait avec le plan horizontal un angle qui peut atteindre 10 degrés, on considère cependant encore comme horizontale une ligne réellement horizontale et située dans le plan de visée horizontal.

La chose se présente autrement lorsqu'on fait converger les yeux. — Renversant la tête en arrière et regardant à travers le tube tenu horizontalement, qu'on donne au fil une direction horizontale en maintenant les lignes visuelles en parallélisme : d'après ce qui précède, vérification faite, on se trouve l'avoir mis réellement horizontal. Fixant ensuite un des points du fil, ou accommodant pour le plus près possible sans changer la direction du regard, on voit aussitôt le fil affecter un mouvement de rotation apparent très-marqué, et dont le sens concorde avec celui de la rotation exécutée par l'horizon rétinien de l'autre œil lorsque celui-ci passe du parallélisme à la convergence. Ainsi, lorsqu'en rejetant la tête en arrière, on regarde, par exemple, horizontalement et directement en avant avec l'œil droit, au moment où l'on se met à converger, l'extrémité droite du fil paraît descendre et l'extrémité gauche paraît monter. Le mouvement inverse se produit lorsque la tête est penchée en avant. Le contraire a lieu pour l'œil gauche. Pour que le fil paraisse horizontal lorsque les yeux convergent, il faut imprimer au tube une rotation de quelques degrés dans le sens opposé à la déviation apparente ; et lorsque les regards redeviennent parallèles, le fil ne paraît plus horizontal. Les rotations qu'il faut faire exécuter au tube sont bien plus considérables que les torsions excessivement petites exécutées réellement par mon œil lors de la convergence de l'autre (voy. p. 609), de sorte que les torsions en question ne donnent pas l'explication de l'expérience que je viens de décrire (2).

Le phénomène qui nous occupe actuellement est au contraire du même genre que celui qui accompagne l'appréciation de la position des objets que nous voyons. Bien que l'œil ouvert conserve sa direction, le changement de direction et la rotation de celui qui est fermé modifient notre jugement sur les directions des lignes tant horizontales que verticales.

---

(1) E. Hering a établi la règle sous cette forme (Beiträge zur Physiologie, p. 254), mais comme son point de fixation était toujours dans le plan médian, il n'a pas expérimenté en plaçant les yeux en parallélisme ni en dirigeant le regard suivant les directions où l'aberration aurait pu se produire.

(2) Je n'ai pas pu faire de séries de mensurations sur la grandeur de ces angles, parce que les grands efforts d'accommodation, fréquemment répétés, m'occasionnent bientôt de violents maux de tête.

Comme tous les observateurs ne savent pas mettre leurs yeux en parallélisme ou en convergence sans le secours d'un point de fixation correspondant, j'ai fait subir la modification suivante à la méthode pour les lignes visuelles parallèles. Devant un large mur, uniformément peint en gris, était suspendu un long fil noir maintenu vertical par un léger poids. A ce poids étaient attachés, de part et d'autre, deux fils horizontaux enfilés dans des pitons fixés au parquet. L'un de ces fils était constamment tendu par un poids, l'autre arrivait à l'observateur, assis à environ six pieds du fil vertical ; en tirant ou en relâchant ce fil, l'observateur pouvait écarter le premier fil à droite ou à gauche de la verticale. L'observateur regardait le fil vertical à travers un tube cylindrique maintenu horizontalement, de manière à n'avoir aucune autre ligne verticale ou horizontale dans le champ visuel, et il cherchait à placer le fil principal dans une position exactement verticale. L'extrémité inférieure du fil vertical se mouvait devant une petite échelle graduée sur laquelle on pouvait lire son déplacement.

M. le docteur Dastich a fait, d'après cette méthode, des expériences dans mon laboratoire. Il s'est surtout servi de son œil gauche, qui est normal, tandis que l'œil droit est myope. Pour que le fil lui parût vertical, il lui fallait constamment en déplacer l'extrémité inférieure un peu à droite, déplacement dont le sens est le même que celui de la déviation du méridien vertical apparent par rapport au méridien véritablement vertical. Les déviations par rapport à la verticale étaient :

POUR L'ŒIL GAUCHE.

La tête étant verticale, le regard dirigé en avant.......	1° 52′
à droite.......	2° 4′
à gauche......	1° 49′
La tête penchée en avant, le regard dirigé en avant....	1° 37′
à droite ou à gauche.	2° 22′
La tête penchée en arrière, le regard dirigé en avant.....	1° 37′
à droite ou à gauche.	2° 7′

POUR L'ŒIL DROIT.

La tête verticale, le regard dirigé en avant.........	— 0° 42′

Les positions obliques étaient aussi éloignées de la position primaire que cela pouvait se faire sans fatigue sensible des muscles de l'œil. Pour que le même méridien de l'œil présentât toujours la direction verticale, il aurait fallu une différence d'environ 16° entre la ligne de regard dirigée en bas et à droite, et cette ligne dirigée en bas et à gauche ; la différence était au contraire insensible. De même pour les directions en haut et à droite, en haut et à gauche. Les petites différences qui se présentent entre les angles de l'œil gauche peuvent pro-

venir de petites inégalités des mouvements de l'œil, peut-être aussi de ce que les regards n'étaient qu'approximativement et non absolument parallèles. D'après des communications manuscrites, les lignes qui paraissent verticales à Volkmann en maintenant les regards parallèles, ne sont ni absolument verticales, ni parallèles au méridien vertical; elles paraissent, au contraire, tenir le milieu entre la direction d'un plan absolument vertical et celle du méridien vertical de l'œil. M. Volkmann est plus myope que M. Dastich et que moi-même, et les écarts qu'il a observés pourraient bien provenir de ce qu'en général les yeux myopes ne voient pas assez exactement, avec des lignes de regard parallèles, pour acquérir de la certitude dans les mouvements faits avec les lignes visuelles ainsi placées.

Pour faire ressortir, dans ces expériences, la différence qui est produite par la convergence, on peut placer d'abord verticalement le long fil éloigné, puis, sans déplacer la tête, celui qui est tendu dans le tube, en ne cessant pas de fixer ce dernier fil, et comparant ensuite la position des deux fils.

Si l'on fixe enfin, avec des regards convergents, un point situé dans le plan médian de la tête, on prend pour horizontales, ainsi que Hering l'a trouvé (1), les lignes qui répondent à la position de l'horizon rétinien de l'œil employé. A cet effet, il plaça l'un dans l'autre deux cylindres d'environ 5 à 6 pouces de longueur et d'un diamètre égal à celui du visage. A l'extrémité antérieure de l'un de ces cylindres était tendu un fil dont on fixait le milieu et qu'on pouvait amener à paraître horizontal, en faisant tourner le cylindre. On prenait la moyenne de dix à vingt expériences.

Les faits que nous avons décrits prouvent que, sous le rapport des torsions, il se manifeste une influence réciproque des deux yeux analogue à celle relative aux directions; et il semble que les faits précédents (qui ont d'ailleurs encore besoin d'être soumis à des mensurations plus exactes) peuvent être résumés dans la règle suivante, qui est une extension du principe établi par Hering pour les directions de la vision et qui facilite l'intelligence de l'ensemble des phénomènes.

Supposons, entre les deux yeux, un œil de cyclope imaginaire, dirigé vers le point de fixation commun aux deux yeux, et dont les torsions suivent la même loi que celles des yeux véritables. Qu'on se figure

---

(1) Beiträge zur Physiologie, p. 254-256. La polémique que M. Hering, s'appuyant sur cette expérience, a soulevée contre mon principe de la plus facile orientation, et le principe de l'annulation du mouvement apparent qu'il a voulu opposer à celui-là, tombent dès qu'on remarque que le résultat de cette expérience ne s'accorde avec les indications de Hering que *lorsque le point de fixation est situé dans le plan médian.*

transportées dans cet œil imaginaire les images rétiniennes de l'un des yeux réels, de manière à faire coïncider chacun à chacun les points de regard et les horizons rétiniens. *Les points de l'image rétinienne se projettent alors en dehors, suivant la ligne directrice de l'œil de cyclope imaginaire* (1).

Si donc nous maintenons, par exemple, notre œil droit dans une position fixe, en amenant l'œil gauche du parallélisme à la convergence, c'est-à-dire en le déplaçant à droite, ce qui, en général, lui fait exécuter une torsion, l'œil de cyclope devrait tourner à droite, d'un angle à peu près moitié moindre. Il en résulte que les images visuelles de l'œil droit, qui est immobile, paraissent se déplacer et tourner du même angle que l'œil de cyclope.

Tant que le point de fixation est dans le plan médian, l'œil de cyclope n'exécute aucune torsion, et, par suite, les horizons rétiniens paraissent horizontaux pour toutes ces positions.

Pour donner l'explication de cette circonstance singulière, il faut nous rappeler que notre vision naturelle est binoculaire, et que l'expérience ne nous apprend immédiatement à apprécier la position des objets fixés, que par rapport à celle de notre corps, que nous sentons. Nous considérons comme étant à notre droite un corps situé à droite du plan médian de notre corps, mais qui, lorsqu'il est plus rapproché de ce plan que notre œil droit, peut être vu à l'aide d'une faible déviation de l'œil droit vers la gauche ou d'une forte déviation de l'œil gauche vers la droite. Nous ne cherchons pas à juger la position des objets par rapport à chacun de nos yeux, ni même par rapport à notre tête, mais plutôt par rapport à notre tronc, ce support de nos membres. C'est cette relation qui est véritablement la seule utile pratiquement.

Ainsi, le signe sensuel d'un objet situé à droite n'est pas le mouvement à droite que sa fixation demande à l'un de nos yeux, ou à tous deux : c'est la déviation à droite de leur direction moyenne. C'est seulement dans un nombre de cas fort restreint que nous sommes exercés à différencier l'une de l'autre les impressions des deux yeux ; ce sont les cas où cette distinction présente une importance pratique, comme dans la vision binoculaire des corps. C'est pour ce motif que nous sommes bien exercés à percevoir la direction et la rotation moyennes de nos deux yeux et à en déduire l'appréciation de la position des objets fixés, mais que nous savons très-mal estimer la direction de chaque œil, ou,

(1) La différence essentielle que présente cette règle avec celle de HERING, c'est que je fais exécuter des torsions à l'œil de cyclope, tandis que HERING en place toujours l'horizon rétinien dans le plan de visée.

en général, distinguer dans la conscience ce qui appartient à l'un ou à l'autre d'entre eux.

Lors donc que nous parlons de direction de la vision, nous ne sommes ni habitués, ni exercés à distinguer la différence de direction des deux yeux, et nous rapportons en général cette direction au plan médian de la tête, et respectivement du corps. Sous ce point de vue, Hering a raison de rapporter les projections des deux yeux dans le champ visuel, à un centre commun situé entre les deux dans le plan médian du corps, aux environs de la région dorsale du nez. C'est là l'expression exacte des faits, bien que je ne sois pas disposé, comme cet observateur, à en faire la base primitive de l'explication des phénomènes visuels, ne fût-ce que parce que la direction de l'attention exerce une influence notable sur une partie des phénomènes dont il s'agit ici.

Regardant avec un œil vers un objet éloigné et tenant devant la partie inférieure du visage une feuille de papier qui empêche de voir les bras et les mains, qu'on élève le doigt indicateur de la main droite derrière l'écran de papier, comme pour montrer l'objet qu'on regarde, le doigt apparaîtra à gauche ou à droite de l'objet fixé, suivant qu'on aura fait usage de l'œil droit ou de l'œil gauche.

Le résultat est inverse lorsqu'au lieu de fixer un objet éloigné, on regarde un objet rapproché, comme par exemple, un point du bord du papier, et qu'on cherche à élever le doigt, tenu un peu loin, de manière qu'il apparaisse précisément derrière le point fixé.

Ce résultat répond à la règle établie par Hering. Dans la vision ordinaire et naturelle, nous rapportons les directions visuelles à la racine du nez, et nous mettons le doigt entre cette région et l'objet fixé ; il ne se trouve donc pas sur la ligne visuelle véritable.

Mais l'expérience que nous venons de décrire peut souvent ne pas réussir. Ainsi, lorsque je concentre mon attention sur cette circonstance que je ne regarde que de l'œil droit et qu'en étendant le doigt pour cacher l'objet, je m'efforce de conserver la notion de la position de mon œil droit, j'amène effectivement le doigt dans la position exacte.

Nous reviendrons sur ces phénomènes dans l'étude de la vision binoculaire.

Il faut encore mentionner une expérience que j'ai souvent répétée. Lorsque je lève l'index, en fermant les yeux, et que je cherche à le fixer avant de les ouvrir, au moment où je les ouvre, je vois des images doubles du doigt qui répondent à des directions parallèles ou à peu près parallèles des lignes de regard, lesquelles passent alors des deux côtés du doigt, à peu près à la même distance. Mais ce qui est fort singulier, c'est que j'obtiens une représentation plus nette

de la position de l'index, lorsque, ayant les yeux fermés, je touche et je frotte l'extrémité de ce doigt avec le pouce de la même main. Je puis alors effectivement, avant d'ouvrir les yeux, les disposer de façon que le doigt m'apparaisse simple au moment où je les ouvre. Il en est de même lorsque je touche et que je tâte avec le doigt un corps solide extérieur.

Lorsque nous sommes parvenus, par la comparaison des perceptions tactiles et visuelles, à la connaissance de la direction suivant laquelle nous devons chercher les objets que nous voyons, il en résulte finalement aussi la localisation des images optiques d'une origine quelconque et des excitations subjectives de notre rétine et de notre appareil nerveux visuel.

En effet, nous reportons dans l'espace toutes les excitations des fibres nerveuses suivant cette loi que nous croyons être en présence de phénomènes lumineux situés dans les parties d'un champ visuel monoculaire ou binoculaire où se trouveraient des objets lumineux réels, capables d'éclairer par leur lumière les parties correspondantes des rétines. On peut constater l'exactitude de cette assertion en provoquant des phénomènes subjectifs en même temps qu'on voit des objets réels dans le champ visuel. C'est ainsi que, lorsqu'après avoir développé dans l'œil une image accidentelle du soleil, nous venons à regarder le paysage, cette image accidentelle recouvre certains objets extérieurs qui, à cause de cette image, se voient moins bien que dans les circonstances ordinaires. Certaines parties de la rétine étant fatiguées, les images des objets extérieurs qui s'y représentent sont plus obscures que d'ordinaire. Cette superficie plus sombre, dans le champ visuel, désigne l'image accidentelle. On comprend donc immédiatement que l'image accidentelle coïncide, dans le champ visuel, avec les objets qui se dessinent sur la partie fatiguée de la rétine. De la même manière, il se peut que les ombres d'objets entoptiques, les figures vasculaires, les phosphènes, les images électriques, viennent coïncider, dans le champ de vision, avec des objets extérieurs. L'effet d'une semblable coïncidence est toujours d'éteindre, d'affaiblir ou de mêler avec d'autres sensations subjectives la sensation que produit la lumière extérieure émanée de certains points du champ visuel. Lorsque nous remarquons le changement ainsi survenu dans l'aspect de certains points extérieurs, nous ne pouvons pas localiser la modification qui se produit dans le champ visuel autrement que ne sont déjà localisés les points qui paraissent modifiés ; les phénomènes subjectifs doivent donc être transportés dans le monde extérieur, d'après les mêmes règles qui se sont formées en nous, par un effet d'expérience, pour les points du monde réel.

Il est évident que les phénomènes lumineux subjectifs, qui peuvent prendre naissance dans un champ visuel complétement obscur, doivent se localiser d'après la même règle. — Bien que ces apparitions lumineuses ne coïncident plus avec des images perceptibles d'objets réels, l'expérience nous a déjà fait connaître, pour chaque partie de la rétine, la direction où devraient se trouver des objets réels qui viendraient s'y peindre, ce qui détermine la localisation des phénomènes subjectifs correspondants. Que, dans le champ obscur, les phénomènes subjectifs, tels que les images accidentelles, se localisent d'après la même loi que les impressions des objets réels, c'est ce que l'on constate simplement en éclairant brusquement le champ obscur, sans mouvoir les yeux : aussitôt, et sans se déplacer, l'image accidentelle coïncide avec des objets déterminés du champ. Comme cette image n'a pas changé de position pendant le changement d'éclairage, elle était préalablement localisée de la même manière que les objets extérieurs avec lesquels elle est venue coïncider.

Ces considérations ne paraissent laisser aucun doute sur l'exactitude de notre loi d'après laquelle toute impression produite sur la rétine se localise exactement dans la partie du champ de vision où l'on verrait un objet extérieur placé de manière à produire la même impression sur la rétine, la lumière arrivant à l'œil sans déviation.

Cette loi peut se démontrer par des expériences plus directes, mais assez peu délicates. — Nous savons que des objets lumineux situés respectivement à droite, à gauche, en haut ou en bas, se dessinent respectivement sur la partie gauche, droite, inférieure ou supérieure de la rétine. Chez les personnes dont les tuniques de l'œil sont minces et diaphanes, nous pouvons voir l'image optique d'une lumière bien brillante apparaître à travers la sclérotique, à l'endroit voulu (p. 87). Or, si nous pressons avec l'ongle le côté droit de l'œil, nous voyons un phosphène à gauche (p. 266). Lorsqu'à l'aide d'un verre convergent nous concentrons de la lumière intense sur la partie droite et extérieure de la sclérotique, nous voyons à gauche, dans le champ visuel, un phénomène lumineux correspondant. Lorsque nous faisons sortir de l'œil, en cet endroit, un courant électrique descendant, nous voyons de même, à gauche, la tache claire correspondante. Si nous excitons, au contraire, l'œil à gauche, le phénomène lumineux se produit à droite dans le champ visuel; il se présente en haut ou en bas suivant que nous excitons en bas ou en haut.

Les illusions d'optique qui reposent sur ce principe sont très-nombreuses. Nous pouvons les classer de la manière suivante :

1° *Les rayons lumineux émanés de l'objet sont déviés, avant de pénétrer dans l'œil*, par réflexion, réfraction ou diffraction. — Quand la

lumière reste homocentrique après s'être déviée, nous croyons, en général, abstraction faite des erreurs de jugement que nous avons décrites, voir l'objet dans la partie de l'espace où se coupent les rayons qui pénètrent dans l'œil (prolongés en arrière, si c'est nécessaire). C'est pour cette raison que ce point d'intersection a reçu le nom d'*image optique* de l'objet (p. 53). Tels sont les effets optiques de nos lunettes et de nos microscopes dioptriques et catoptriques, de nos miroirs plans et sphériques, des loupes et des autres lentilles de verre, y compris les prismes lorsqu'ils sont employés de manière à donner de la lumière sensiblement homocentrique. Il est inutile d'insister ici sur les effets de ces instruments, leur étude formant un chapitre de l'optique géométrique qui a déjà été amplement et soigneusement travaillé. Tous ces instruments donnant des images optiques des objets, que nous croyons voir au lieu des objets eux-mêmes; ils produisent des illusions d'optique, mais des illusions dont nous pouvons facilement éviter l'erreur, tout en nous permettant, sur les images optiques grossies ou autrement modifiées, de reconnaître bien des choses que nous ne pourrions pas voir par l'examen direct de l'objet. C'est ainsi qu'un miroir plan nous fait voir les objets d'un point de vue que nous ne pouvons souvent pas prendre en réalité, à savoir, celui d'un observateur qui serait placé derrière le plan du miroir : de cet endroit, notre visage, par exemple, peut être vu de face, ce que nous ne pouvons pas faire directement. Un prisme nous présente séparées les images d'un objet lumineux qui répondent aux différentes couleurs simples de la lumière, et ainsi de suite.

Lorsque la lumière, dans ses déviations, ne reste pas homocentrique, nous voyons des parties lumineuses plus ou moins estompées dans les parties du champ visuel qui répondent aux parties éclairées de la rétine, De ce genre sont l'arc-en-ciel, les franges de diffraction, le reflet de l'eau agitée, etc.

2° *La lumière arrive à l'œil sans déviation, mais cet organe n'est pas accommodé pour le point lumineux.* — Si la pupille est libre, les points lumineux du champ visuel sont remplacés alors par des surfaces éclairées présentant, d'une manière plus ou moins irrégulière, la forme connue de la figure rayonnée des petits cercles de diffusion (p. 188); de petits objets, tels que le croissant lunaire, paraissent alors souvent doubles ou multiples (p. 189). Ces phénomènes proviennent de ce que la lumière d'un point de l'objet ne se concentre plus sur un seul point de la rétine, mais qu'elle se diffuse, au contraire, sur une petite portion de la surface de cette membrane. A la surface rétinienne éclairée répond alors, dans le champ visuel, un phénomène lumineux étendu superficiellement.

Lorsque, au lieu de laisser la pupille entièrement libre, on regarde à travers une petite ouverture pratiquée dans une carte, il arrive, de plus, que la position et la grandeur des objets sont faussées ; lorsqu'on fait mouvoir la carte, l'objet paraît se déplacer, ainsi qu'il a été expliqué pages 126 et 127. Il est vrai que, dans ce cas, chaque point lumineux de l'objet se peint à peu près suivant un point sur la rétine, mais ces images n'occupent pas leur position normale, à cause de l'accommodation inexacte de l'œil.

Lorsqu'on regarde à travers une carte percée de deux ou trois ouvertures, si l'accommodation est défectueuse, les objets paraissent doubles ou triples.

Ces expériences sont importantes parce qu'elles nous font reconnaître que l'accommodation exacte de l'œil fait partie des conditions de la vision normale sur lesquelles se fonde la localisation expérimentale des sensations. Nous projetons dans le champ visuel les cercles de diffusion, ou les parties qui en restent lors de la vision à travers des ouvertures étroites, comme si c'étaient des images formées avec une accommodation exacte. Pour chaque point éclairé de la rétine, nous plaçons un point lumineux dans le champ visuel. Aussi ces expériences ont-elles présenté quelque importance pour le développement de l'optique physiologique, parce qu'elles ont permis de reconnaître que la direction de la projection n'est déterminée ni par la direction suivant laquelle le rayon lumineux parvient à l'œil, ni par celle suivant laquelle il atteint la rétine, mais bien par la partie de la rétine qui est atteinte. Si l'on examine la figure 50 (p. 127), on voit que les lignes de projection $f\varphi$ et $g\gamma$ s'écartent notablement des positions véritables des rayons réfractés et de ceux qui ne le sont pas.

3° *On voit des corps appartenant à l'œil lui-même*, comme les objets entoptiques, les mouches volantes, les ombres vasculaires, la fovea, etc., tels qu'ils ont été décrits au paragraphe 15, et en partie au paragraphe 25. Ces objets envoient de l'ombre à la couche postérieure de la rétine, et, pour cette raison, ils apparaissent sous forme d'ombres dans le champ visuel. Ainsi notre illusion d'optique reporte au dehors des objets appartenant à l'intérieur de l'œil : le plus souvent ces objets sont vus renversés, parce que le plus souvent leurs ombres sont droites sur la rétine. Comme la position de ces parties ne peut se déterminer que par leur apparition subjective, ils ne nous apprennent rien de nouveau pour la théorie.

4° *Il y a excitation des nerfs ou modification de leur état d'excitation.* — Dans ces cas, la modification ne porte pas sur la lumière elle-même, mais sur la sensation lumineuse ; cette catégorie comprend les

phosphènes ordinaires, le phosphène d'accommodation, les gerbes lumineuses qui se produisent près de l'entrée du nerf optique lorsqu'on fait mouvoir les yeux, la lumière propre de la rétine, les phénomènes électriques qui ont été décrits au paragraphe 17. Dans cette classe de phénomènes, l'illusion ne consiste plus seulement dans la localisation erronée d'un objet lumineux ou obscur; on n'est plus en présence d'aucun objet réel, mais seulement d'une sensation analogue à celle qui est produite, en général, par des objets véritables.

Chez l'homme sain et éveillé, on voit se produire toutes ces illusions que nous avons décrites, et l'on ne peut même pas leur échapper lorsque la réflexion permet d'en reconnaître la nature. Cependant, en général, les illusions sont bien reconnues comme telles. Lorsque nous regardons à travers un instrument d'optique ou dans un miroir, nous savons que nous voyons dans des conditions modifiées et nous apprenons bientôt à nous former, à l'aide de l'image fausse, un jugement exact sur la constitution réelle des objets. C'est ainsi que nous apprenons à nous raser, à nous peigner, etc., en nous dirigeant d'après l'image que nous voyons de nous dans la glace, bien que cette image intervertisse la droite et la gauche. Avec un peu d'exercice, nous apprenons à disséquer sous la loupe et même sous le microscope composé, bien que ces deux instruments exagèrent les mouvements de notre main et que le dernier les renverse : il nous est donc possible de nous exercer à diriger nos mouvements d'après des images optiques inexactes.

Pour les autres phénomènes, ceux qui ont leur cause dans l'œil même, la circonstance qui permet d'en reconnaître la nature subjective paraît consister notamment en ce qu'ils suivent les mouvements de l'œil. Ce signe distinctif fait défaut pour les phénomènes qui apparaissent subitement et disparaissent aussitôt, et alors on peut réellement être dans le doute sur la réalité de l'objet qu'on a vu. C'est ainsi que lorsqu'on cherche à se conduire dans l'obscurité et qu'à la vision indirecte on voit reluire un reflet lumineux pendant un mouvement du corps et de l'œil, l'observateur le plus expérimenté est parfois incapable de dire avec certitude si cette lueur est objective ou subjective. Il est très-probable que bien des histoires de spectres doivent leur origine à de semblables phénomènes subjectifs. La lumière propre de la rétine est riche en formes auxquelles un poltron peut attribuer facilement toutes sortes de significations extraordinaires, surtout lorsqu'il regarde fixement le phénomène qui l'effraye, ce qui l'empêche de remarquer que cette apparition se meut avec l'œil. Dans les fièvres ou les affections cérébrales, où l'association régulière des représentations est dérangée et où elles s'effacent avec rapidité, le malade étant alors hors

d'état de les comparer et les combiner, et n'ayant plus la réflexion nécessaire pour reconnaître la nature subjective des phénomènes dont nous avons parlé, il se produit fréquemment des représentations fantastiques. Dans le délire alcoolique, il apparaît, dans le champ visuel, des taches noires qui se meuvent rapidement avec l'œil, et le malade croit voir courir des souris, des hannetons noirs ou des mouches. Dans le délire fébrile, au contraire, on reconnaît souvent, dans la description des malades, les points et les cercles lumineux et colorés qu'on peut également reproduire chez l'homme sain, par une légère pression sur l'œil, et que malade prend tantôt pour des étincelles, tantôt pour des yeux ardents, etc.

Dans les phénomènes décrits jusqu'ici, nous avons admis que la tête était droite ou que, dans le cas contraire, nous en connaissions l'inclinaison. Il faut mentionner, pour finir, une illusion qui repose sur une fausse appréciation de la position de la tête. Aubert (1) pratiqua, dans le volet d'une chambre obscure, une fente de 5 centimètres de long sur 2 de large, et qui formait le seul objet visible dans l'espace qui l'entourait. Lorsque, cette ligne éclairée étant verticale, l'observateur inclinait la tête vers l'épaule droite, la ligne paraissait oblique de droite à gauche et de bas en haut. De même, en inclinant la tête vers l'épaule gauche, on obtenait encore un mouvement apparent de la ligne en sens contraire de celui de la tête. Lorsque la ligne était inclinée de 45° sur l'horizon et montait en allant de gauche à droite, elle paraissait verticale lorsqu'on inclinait la tête à droite et pouvait même dépasser la verticale pour s'incliner en sens opposé. En inclinant la tête à gauche, la ligne paraissait horizontale et pouvait même dépasser l'horizontale. Le maximum de rotation de la ligne lumineuse se produisait lorsque la tête avait une inclinaison d'environ 135°.

La rotation de la ligne éclairée suit d'assez près l'inclinaison de la tête lorsque ce mouvement s'exécute lentement ; mais si l'on incline brusquement la tête d'une quantité considérable, la rotation de la ligne n'est accomplie que quelques secondes après.

Lorsqu'on laisse pénétrer de la lumière dans la chambre en maintenant l'inclinaison de la tête, la ligne reprend sa position verticale. Si l'on reproduit l'obscurité, la ligne reprend sa position oblique.

Il ne s'agit pas ici d'une rotation de l'œil dans la tête, comme on peut s'en assurer à l'aide des images accidentelles. Lorsqu'on incline la tête de 90° à droite, une image accidentelle, développée dans le méridien

---

(1) *Virchow's Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie*, XX.

vertical de l'œil, ne présente pas, dans une chambre obscure, sa position réelle, qui est sensiblement horizontale : elle paraît beaucoup plus oblique de gauche à droite et de bas en haut qu'elle ne l'est réellement; et une ligne objective présentant réellement cette forte inclinaison paraît verticale.

L'illusion tient à une tendance que nous avons à considérer, dans l'obscurité, les inclinaisons latérales de la tête comme plus petites qu'elles ne sont en réalité.

Au lieu de faire l'observation dans l'obscurité, on peut placer la ligne sur un mur peint d'une couleur uniforme et s'entourer la tête d'un écran cylindrique qui masque tous les objets environnants.

C'est ici que trouvent encore leur place les phénomènes connus du mouvement que paraissent présenter les objets immobiles lorsque nous nous trouvons sur un bateau ou dans un train de chemin de fer qui se déplace lentement; il en est de même du phénomène inverse, d'après lequel nous croyons être en mouvement lorsque nous sommes immobiles et que ce sont les objets situés devant nous qui se déplacent avec une vitesse constante. Le plus grand exemple de la première espèce est le repos apparent de la terre, au mouvement de laquelle se substitue la rotation apparente du ciel étoilé. Quand deux trains sont arrêtés côte à côte dans une gare, l'observateur assis dans l'un des trains et qui regarde l'autre a souvent bien de la peine, lorsque l'un des trains se met en marche, à décider auquel des deux il doit attribuer le mouvement, tant qu'il ne parvient pas à voir des parties fixes du sol ou des bâtiments. De même, dans les observatoires à coupole mobile, tels qu'on les établit pour placer l'héliomètre, lors de la rotation de la coupole, on se figure parfois qu'elle est immobile et que c'est le plancher qui tourne.

En général, c'est la partie la plus grande du champ visuel qu'on considère comme immobile et la partie la plus petite à laquelle on attribue le mouvement. Il faut ajouter qu'au commencement d'un mouvement nous nous attendons à ressentir des chocs ou des secousses ou tout au moins les effets de l'inertie de la masse de notre corps. Si donc le mouvement commence très-graduellement, comme celui d'un bateau, nous ne croyons pas être en mouvement; inversement, si nous avons ressenti des secousses, comme celles que le passage d'un train peut nous communiquer, nous croyons être en mouvement. Lorsque l'une et l'autre interprétation sont également possibles, l'observateur peut, à volonté, se représenter les choses de l'une ou de l'autre manière.

M. J. J. Oppel a construit, sous le nom d'*antirrhéoscope*, un appareil pour obser-

ver le vertige visuel qui se produit à l'aspect d'un mouvement et que cet observateur avait remarqué sur un torrent d'eau (le Rhin à Schaffhouse, un instant avant la chute); avec cet appareil, on peut, à tout moment, observer le phénomène. L'instrument se compose de cinq rouleaux de 2 $^1/_2$ pouces de diamètre et de 2 $^1/_2$ pieds de long, placés parallèlement les uns à côté des autres, et qui peuvent être mis en mouvement tous dans le même sens, à l'aide d'un tambour de plus grand diamètre. Chaque rouleau est recouvert d'un papier blanc sur lequel sont dessinées deux spirales de deux tours et demi chacune. Chaque spirale se compose elle-même d'une ligne médiane épaisse et noire de 1 $^1/_2$ pouce de largeur, à un demi-pouce de laquelle se trouvent, de part et d'autre, deux lignes noires d'un demi-pouce de largeur. La largeur du blanc qui sépare la bande noire de deux tours de spire voisins a également 1 $^1/_2$ pouce de large, de sorte que le blanc et le noir sont distribués symétriquement. Lorsqu'on fait tourner le tambour, dont le bord agit par friction sur les extrémités des rouleaux, tous ces cylindres se mettent à tourner dans le même sens; celui du milieu tourne un peu plus vite que ceux des extrémité, de manière à imiter le mouvement inégal de l'eau du fleuve. Les spirales paraissent alors se déplacer avec une vitesse uniforme, parallèlement à la longueur des rouleaux, et si l'observateur, après avoir regardé pendant quelque temps ce mouvement apparent, porte le regard sur des objets immobiles, ceux-ci paraissent se déplacer en sens opposé.

M. Oppel avait placé, en avant des rouleaux, un point de repère pour maintenir la fixité du regard. Mais, à ce qu'il paraît, l'expérience manquait souvent lorsqu'il fixait ce signe, et comme il croyait la fixation nécessaire à la production du vertige et qu'il pensait qu'elle était empêchée par l'aspect de la masse mobile, il prit pour objet de fixation une planchette de bois rhomboïdale de 1/2 pouce de large sur 3/4 de pouce de haut, qui recevait par le mécanisme de l'instrument un mouvement de rotation lent, de manière à présenter alternativement ses deux faces à l'observateur. Avec cette modification, l'expérience réussissait régulièrement : cela tient, je pense, à ce que cette disposition rend impossible la fixation continue d'un même point immobile ; en effet, tous les points de la planchette que l'on voudrait fixer présentent des alternatives d'apparition et de disparition. Mes expériences m'amènent à croire, contrairement à l'opinion d'Oppel, que la fixation rigoureuse empêche le vertige de se produire et qu'il ne se produit que lorsque nous exécutons de petits mouvements involontaires, et le plus souvent insconscients, qui nous permettent de suivre du regard les objets en mouvement. Oppel n'en a pas moins raison d'avancer que les mouvements volontaires un peu étendus, à l'aide desquels nous suivons assez loin et sciemment les mouvements des objets, sont défavorables à la production de l'illusion.

M. Javal me propose d'ajouter que l'ophthalmoscope fournit un moyen extrêmement délicat de contrôler des mouvements de ce genre. — Chez les personnes affectées de nystagmus, lorsqu'on examine le fond de l'œil à l'image droite, on le voit fuir suivant un sens déterminé, comme un dessin continu qui se déroulerait. Ce phénomène tient à ce que les mouvements exécutés par l'œil malade sont bien plus rapides dans un sens que dans l'autre, et que les vaisseaux ne sont vus que pendant le plus lent des deux mouvements. — En examinant à l'ophthalmoscope

l'œil d'une personne qui vient de regarder l'appareil d'Oppel, je pense, en effet, qu'il serait facile d'en constater les mouvements.

La vision droite malgré le renversement des images rétiniennes a été attribuée par KEPPLER (1) à l'âme, qui se représenterait l'impression reçue sur une partie inférieure de la rétine comme si elle venait d'une partie supérieure de l'objet. SCHEINER (2) fut du même avis. PRIESTLEY (3) fait provenir cette particularité de nos représentations visuelles de la comparaison avec le toucher. DESCARTES (4), pour faire comprendre la méthode naturelle d'après laquelle nous déduisons la grandeur, la position et la distance des objets de la direction des axes oculaires, la compare avec la manière dont un aveugle juge de la grandeur et de la distance d'un objet à l'aide de deux bâtons, de longueur même inconnue, pourvu qu'il connaisse la distance et la position relatives de ses mains dans lesquelles il tient les bâtons. Du reste, la question de la vision droite a donné lieu à une foule d'écrits (5).

KEPPLER (6) avait déjà trouvé la règle qui donne la position apparente des objets vus à travers les instruments dioptriques ou catoptriques : il mit cette position au point de convergence des rayons qui pénètrent dans l'œil. Les difficultés qui ont donné lieu, plus tard, à de nombreuses discussions sur ce point, étaient relatives moins à la direction suivant laquelle on voit l'objet qu'à sa distance, dont il sera question au paragraphe suivant.

PORTERFIELD (7) croyait qu'à l'aide d'une disposition originelle de notre nature, nous voyons les objets en un point de la perpendiculaire élevée sur la rétine, à l'endroit où se produit l'image. Cette opinion a été soutenue également par d'ALEMBERT (8), BARTELS (9) et beaucoup d'autres. VOLKMANN (10) a remplacé les normales à la rétine, par les lignes de direction qui, d'après la définition donnée page 92, sont des lignes menées par l'image rétinienne et le point nodal postérieur de l'œil. Ces lignes sont effectivement celles qui servent à trouver objectivement le point lumineux, dans les recherches physiques, lorsqu'on connaît exactement la position de l'image rétinienne dans l'œil bien accommodé et la position de cet œil. Les lignes de direction jouent donc un rôle important dans l'optique physiologique, surtout lorsqu'il s'agit de déterminer quels sont les objets extérieurs dont l'image se confond avec des excitations quelconques de la rétine, soit par la lumière, soit par des excitants internes. Ainsi VOLKMANN est dans le vrai tant que nous déterminons exactement la position objective des corps que nous voyons. Mais une semblable détermination exacte n'est guère possible que pour les points que nous voyons directement avec les deux yeux, et pour ceux-là même, elle manque quelquefois. Nous attribuons des directions inexactes à tous les points vus indirectement ; en effet, comme on l'a vu dans ce paragraphe, nous attribuons une valeur trop faible à l'angle compris entre leur ligne de direction et la ligne de regard ; toutes les fois que nous faisons converger les yeux pour les diriger sur des objets plus rapprochés, nous formons, ainsi qu'on le voit par les expériences décrites plus haut, un jugement erroné sur les directions des objets que nous voyons. Ainsi que HERING (11) l'a fait remarquer avec raison, l'explication des images doubles binoculaires ne peut guère se déduire de la théorie de VOLKMANN. Nous ne pouvons donc pas admettre la théorie de VOLKMANN comme une loi néces-

(1) Paralipomena, p. 169. — SMITH's Opticks, Rem., p. 4.

(2) Oculus, p. 192.

(3) Geschichte der Optik, übersetzt von KLÜGEL, Leipzig, 1776, p. 69.

(4) Dioptrice, p. 68. — De homine, p. 66.

(5) KAESTNER, in *Hamburger Magazin*, VIII, St. 4, Art. 8 ; IX, St. 1, Art. 4. — LICHTENBERG, in ERXLEBEN's Naturlehre, 6. Aufl., p. 328. — RUDOLPHI, Physiologie, II, 227. — L. FICK, in *Müller's Archiv für Anatomie*, 1854, p. 220. — Voy. de plus la bibliographie suivante.

(6) Paralipomena, p. 285 ; p. 69-70.

(7) On the eye, II, 285.

(8) Opuscula mathem., I, p. 26.

(9) Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes, Berlin, 1834.

(10) Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes, Leipzig, 1836. — Artikel Sehen, in *R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie*. — Voy. aussi MILE, Ueber Richtungslinien des Sehens, in *Poggendorff's Annalen*, XLII, 245. — *Müller's Archiv für Anatomie*, 1838, p. 387.

(11) Beiträge zur Physiologie, Leipzig, 1861, p. 35-64.

saire et élémentaire qui déterminerait déjà par elle-même la direction des objets que nous voyons. Hering a rendu le service essentiel d'avoir mis en évidence l'influence qu'exerce, dans ce cas, la convergence.

Plateau (1), Oppel (2) et Zöllner (3) ont recherché l'influence des mouvements vertigineux et des mouvements apparents; Aubert (4) a examiné celle de la fausse appréciation de la position de la tête; A. de Graefe (5) et Nagel (6), celle de la paralysie d'une partie des muscles moteurs de l'œil.

1604. Keppler, ad Vitellionem Paralipomena, p. 169; 285; 69-70.
1619. Scheiner, Oculus, Oenipontii, 1619, p. 192.
1637. Descartes, Dioptrice, Leyden, p. 68.
1667. Honoratus Faber, Synopsis optica, Lugd.
1709. Berkeley, Essay towards a new theory of vision.
1740. Le Cat, Traité des sens, Rouen.
— Wedel, Ueber den Radius visorius des Honoratus Faber, in *Halleri Disputat. anat.*, IV, 216.
1754. Condillac, Traité des sensations.
1759. Porterfield, A treatise on the eye, Edinb., II, p. 285.
1761. D'Alembert, Opuscula mathem., I, p. 26; 265.
1771. Boehm, De Visione erecta, in *Acta Hassiaca*, 64.
1772. Priestley, History and present state of discoveries relating to vision, light and colours, Uebers. v. Klügel, Leipzig, 1775, p. 69.
1783. Rochon, in *Recueil de Mémoires sur la Mécanique et Physique*, VI, p. 241
1784. Du Tour, Mémoire pour établir que le point visible est vu dans le rayon qui va de ce point à l'œil, in *Mémoires des savants étrang.*, Paris, VI, p. 241.
— Fearn, A rationale of the laws of cerebral vision, composing the laws of single and erect vision, deduced upon the Principle of Dioptrics, London.
1788. Walter, in *Berliner deutsche Abhdl.*, 3.
1793. Araldi, Esame di uno fra i diversi dubbi messi dal celebre d'Alembert ai principi dell' Ottica; con alcune considerazioni sopra la teoria psicologica della visione, in *Memor. dell' Istit. nazion. Ital.*, I, p. 451.
1794. Lichtenberg, in Erxleben's Naturlehre, 6. Aufl., p. 328.
— Kaestner, in *Hamburger Magazin*, VIII, St. 4, Art. 8; IX, St. 1, Art. 4.
1820. Rudolphi, Physiologie, II, 227.
1826. J. Müller, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinns, Leipzig.
1834. Bartels, Beiträge zur Physiologie des Gesichtsinns, Berlin.
1836. Volkmann, Beiträge zur Physiologie des Gesichtsinns, Leipzig. — *R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie*, Artikel : Sehen.
1837. Mile, Ueber Richtungslinien des Sehens, in *Pogg. Ann.*, XLII, 245. — J. Müller's Anat. u. Physiol., 1838, p. 387.
1844. D. Brewster, Law of visible position in single and binocular vision, in *Edinb. Trans.*, XV, 1844.
1849. Plateau, Sur de nouvelles applications curieuses de la persistance des impressions de la rétine, in *Bull. de Bruxelles*, XVI, II, 30, 254. — *Institut*, XVIII, n° 835, p. 5. — *Phil. Magaz.*, XXXVI, 434, 436. — *Pogg. Ann.*, LXXX, 150, 287.
1852. H. Boens, Étude sur la vision de l'homme et des animaux, in *Bulletin de Bruxelles*, XIX, 2, p. 155-161. (Cl. des sciences, 1852, p. 443-449.)
— Lotze, Medizinische Psychologie, p. 362-369.
1854. L. Fick, Bemerkungen zur Physiologie des Sehens, in *Müller's Archiv für Anat. und Physiol.*, 1854, p. 220-225.

---

(1) *Bulletin de Bruxelles*, t. XVI. — *Poggendorff's Annalen*, LXXX, p. 287.
(2) *Poggendorff's Annalen*, XCIX, 543.
(3) *Pogg. Ann.*, CX, 500.
(4) *Virchow's Archiv für pathologische Anatomie*, XX, 381-393.
(5) *Archiv für Ophthalmologie*, I, 1, p. 67.
(6) Das Sehen mit zwei Augen, Breslau, 1861, p. 124-129.

1854. A. v. GRAEFE, Beiträge zur Physiologie und Pathologie der schiefen Augenmuskeln, in *Archiv für Ophthalmol.*, I, 1, p. 67.

1855. H. HELMHOLTZ, Ueber das Sehen des Menschen, ein populär wissenschaftlicher Vortrag, Leipzig, p. 20-42.

— E. B. HUNT, On our sense of the vertical and horizontal, in *Silliman Journ.*, 2, XX, 368-375.

1856. J. J. OPPEL, Neue Beobachtungen und Versuche über eine eigenthümliche, noch wenig bekannte Reactionsthätigkeit des menschlichen Auges, in *Pogg. Ann.*, XCIX, 540-561.

1858. UEBERWEG, Zur Theorie der Richtung des Sehens, in *Zeitschr. für ration. Medicin.*, 3, V, 268-282.

1860. J. J. OPPEL, Zur Theorie einer eigenthümlichen Reactionsthätigkeit des menschlichen Auges in Bezug auf bewegte Netzhautbilder, in *Jahresber. d. Frankfurter Vereins*, 1859-1860, p. 54-64. — *Zeitschr. für Naturw.*, XVII, 258-260.

— H. AUBERT, eine scheinbare bedeutende Drehung von Objecten bei Neigung des Kopfes nach rechts und links, in *Virchow's Archiv*, XX, 381-393.

1861. NAGEL, Das Sehen mit zwei Augen, Breslau, p. 124-129.

— E. HERING, Beiträge zur Physiologie, Leipzig, Heft 1, p. 35-64.

1862. F. ZÖLLNER, Ueber eine neue Art anorthoskopischer Zerrbilder, in *Pogg. Ann.*, CXVII, 477-484. — *Zeitschr. für Naturw.*, XXI, 163.

1863. J. CZERMAK, Ueber das sogenannte Problem des Aufrechtsehens, in *Wiener Ber.*, XVII, 566-574.

1865. ALFRED GRAEFE, Ueber einige Verhältnisse des Binocularsehens bei Schielenden, in Archiv für Ophthalmologie, XI, 2, p. 6-16.

§ 30. — Perception de la profondeur.

Dans les deux paragraphes précédents, nous avons décrit comment les objets paraissent se disposer les uns à côté des autres dans la surface du champ visuel ; nous avons recherché également quelles sont les circonstances qui influent sur cette disposition et sur les distances relatives que paraissent présenter les différents objets dans le champ visuel. Pour faciliter l'exposé géométrique, nous nous sommes permis, il est vrai, d'attribuer au champ visuel la forme d'une sphère, mais nous avons eu soin d'insister sur ce point que la disposition apparente dans le champ visuel se fait superficiellement, c'est-à-dire suivant deux dimensions, mais sans que ce soit aucunement sur une surface déterminée, ayant une position et des dimensions définies. Loin de là, nous avons laissé dans une indétermination complète la forme de cette surface du champ visuel. Aussi peut-on encore lui attribuer toutes sortes de formes dès qu'elles seront indiquées par de nouvelles circonstances de la perception.

La vision monoculaire ne nous fait percevoir d'abord que la direction sur laquelle se trouve le point que nous voyons. Ce point peut se déplacer sur la ligne de visée où il se trouve, sans qu'il se produise, dans l'impression reçue par l'œil, aucune modification autre que relativement à la grandeur du cercle de diffusion formé sur la rétine, et tant que le déplacement n'excède pas la longueur de la *ligne d'accommo-*

dation de Czermak (p. 122), cette modification du cercle de diffusion ne présente aucune valeur appréciable. Nous avons déjà étudié, dans le paragraphe précédent, quelles sont les erreurs que nous commettons en percevant la direction d'une semblable ligne de visée. Ainsi, la vision monoculaire ne nous indique immédiatement que la *position apparente de la ligne de visée* sur laquelle il faut chercher le point que nous voyons.

Pour obtenir une connaissance complète de la disposition véritable des objets dans l'espace, il faut encore connaître, sur la ligne de visée, la *distance* qui sépare de l'œil chacun des points que nous voyons. A la connaissance des *dimensions superficielles* du champ il faut ajouter celle de la *profondeur.* L'expérience journalière nous apprend que nous jugeons également cette troisième dimension, avec plus ou moins d'exactitude. Nous avons donc à examiner comment nous parvenons à connaître la distance comprise entre notre œil et les objets.

Les moyens qui permettent d'arriver à reconnaître ainsi la forme des objets dans l'espace peuvent être rangés dans deux catégories tout à fait distinctes. La première renferme les résultats de notre expérience sur la nature particulière des objets que nous voyons ; il ne peut évidemment en résulter que des *représentations* de la distance. A la seconde catégorie appartiennent les sensations qui nous donnent une *perception* réelle de la distance ;. ce sont : 1° la *conscience de l'effort d'accommodation nécessaire ;* 2° l'*observation à l'aide de mouvements d'accommodation de la tête et du corps ;* 3° l'*usage simultané des deux yeux.*

I. — Avant d'examiner quand et combien les moyens de cette seconde catégorie contribuent à la perception, il nous faut rechercher quelles sont les données fournies par l'expérience, pour nous mettre en état de distinguer la part qui leur revient. Nous avons à étudier ici tout ce que nous pouvons distinguer, par rapport à la troisième dimension du champ visuel, lorsque nous regardons d'un seul œil, et sans déplacer la tête, des objets qui sont assez éloignés ou assez peu nets pour que leur observation ne demande aucun effort sensible d'accommodation. Les éléments que nous utilisons dans ces conditions sont d'abord la connaissance préalable de la grandeur des objets, puis celle de leur forme, connaissances auxquelles viennent s'ajouter la distribution de l'ombre et le degré de transparence de l'air interposé.

Le même objet, vu à des distances différentes, donne des image rétiniennes de différentes grandeurs et se présente sous des angles visuels différents. Plus il est éloigné, plus l'angle visuel sous lequel il se présente est petit. De même donc que les astronomes peuvent calculer les

changements de distance du soleil ou de la lune d'après les modifications de l'angle visuel sous lequel se présentent ces astres, de même aussi nous pouvons apprécier la distance à laquelle se trouve un objet de grandeur connue, un homme, par exemple, d'après la grandeur de l'angle visuel ou, ce qui revient au même, d'après celle de l'image rétinienne. Ce sont surtout les hommes et les animaux domestiques qui nous fournissent, sous ce rapport, des renseignements très-utiles dans le paysage; en effet, leurs mouvements attirent facilement l'attention sur eux, leur grandeur varie peu et elle nous est très-familière. Les militaires, en particulier, sont bien exercés à apprécier exactement par ce procédé la distance de corps de troupes éloignés, sur un terrain inconnu; c'est aussi spécialement pour leur usage qu'on a construit différents petits instruments d'optique qui permettent de mesurer l'angle visuel sous lequel apparaît la hauteur d'un homme éloigné et d'en déduire sa distance par une simple lecture. Les maisons, les arbres, les plantes cultivées, servent avec moins de certitude au même but, parce que leur grandeur est plus variable, ce qui peut faire commettre de grossières erreurs. Un habitant de la plaine prend facilement les vignobles des coteaux pour des champs de pommes de terre, ou des sapins sur de hautes montagnes éloignées pour des bruyères, et, par suite, il se trompe très-souvent en moins dans son appréciation de la distance et de la hauteur des montagnes. C'est pour le même motif que les peintres mettent des hommes et des animaux dans leurs paysages pour donner une idée de la grandeur des objets représentés.

Il faut encore ajouter que la lune ou les montagnes éloignées, lorsqu'une cause quelconque, telle qu'une pureté moindre de l'atmosphère, nous fait leur attribuer une distance plus grande, paraissent toujours augmentées, en même temps, dans la même proportion. Citons encore l'expérience d'après laquelle les parties éloignées d'un paysage, vues à travers une lunette grossissante, ne nous paraissent pas grossies, mais rapprochées, et qu'il faut ouvrir l'autre œil pour se convaincre de la réalité du grossissement des images.

Comme cette relation entre la distance et la grandeur ne peut devenir familière que par une longue expérience, il ne paraîtra pas étonnant que les enfants y soient assez peu exercés et qu'ils commettent facilement de grossières erreurs. C'est ainsi que je me souviens d'être passé dans mon enfance devant une tour d'église (l'église de la garnison, à Potsdam) et, en voyant sur la plate-forme des personnes que je pris pour des poupées, d'avoir demandé à ma mère de me les donner : je croyais qu'il lui suffirait d'étendre le bras pour les saisir. Ce trait s'est gravé dans ma mémoire, parce que c'est en reconnaissant alors

mon erreur que je compris que la perspective fait paraître les objets plus petits.

A la connaissance de la grandeur s'ajoute, dans un grand nombre de cas, celle de la forme des objets, surtout dans les cas où ils se recouvrent partiellement. Lorsque nous voyons, par exemple, dans le lointain, deux collines dont l'une cache en partie le pied de l'autre, nous en concluons que la première est en avant de la seconde ; car s'il n'en était pas ainsi, il faudrait que la seconde eût une partie surplombante, telle que les collines n'en présentent jamais, et il faudrait de plus, que par une coïncidence bien extraordinaire, ce contour surplombant se trouvât précisément sur la continuation du profil de la seconde colline. Ce serait là une interprétation possible de l'image, mais qui serait contraire à toute expérience. On peut naturellement faire la même remarque pour toutes sortes d'objets qui se masquent en partie. Même lorsque leur forme nous est absolument inconnue, il suffit, le plus souvent, de remarquer que le profil de l'objet antérieur se continue sans interruption après avoir rencontré celui de l'objet postérieur, pour les distinguer l'un de l'autre. On peut facilement provoquer, au contraire, une illusion en tenant une feuille de papier de manière à cacher une partie de l'objet antérieur, le bord de la feuille paraissant faire suite avec le tour de l'objet postérieur.

Parmi les illusions qui reposent sur ce principe, les plus remarquables sont celles qui se produisent en présence de surfaces réfléchissantes ou réfringentes qui projettent une image optique entre elles-mêmes et l'observateur. — La plupart des personnes ont de la difficulté à s'assurer que cette image est aérienne et située en avant du miroir ; car on voit des lacunes dans l'image aux points où le miroir a des taches, l'image est limitée par le bord du miroir, et, en général, toutes les petites irrégularités du tain se voient distinctement à travers l'image. L'image paraît être l'objet recouvert, ou postérieur, tandis qu'elle est, en réalité, antérieure. Il n'est pas toujours facile d'éviter complétement l'illusion, même lorsqu'à l'aide de la vision binoculaire, des mouvements de l'œil et des variations de l'accommodation, on met en jeu des éléments sensuels qui définissent, sans aucune équivoque, la position vraie de l'image. Le meilleur moyen est encore de disposer, dans le plan de l'image, un écran avec une fenêtre qui permette de voir l'image sans laisser paraître le bord de la surface réflechissante ou réfringente qui la produit. L'observateur voit alors facilement que l'image est située dans le plan de l'écran (1).

(1) Voyez, à ce sujet, DOVE, in *Pogg. Ann.*, LXXXV.

Il est à propos de remarquer ici que, lorsque les yeux sont ouverts, les phénomènes visuels subjectifs paraissent toujours projetés sur la surface des objets visibles dans le champ visuel. Comme ces apparitions se déplacent en accompagnant les mouvements de l'œil, on les distingue immédiatement des phénomènes objectifs et on ne leur attribue aucune éalité ; elles se présentent tout au plus comme des taches sur les objets réels, et cela lorsque l'attention se porte sur elles. Leur localisation se produit en général de cette façon, même pour les images accidentelles binoculaires, lesquelles pourraient se prêter à une localisation déterminée dans l'espace. Le plus souvent on est porté à projeter ces images sur les objets réels, au lieu de se former une notion stéréoscopique de leur position, ce qu'on ne réussit à faire qu'en y portant l'attention d'une manière toute spéciale.

Dans un grand nombre de cas, il suffit de savoir ou de présumer que l'objet perçu possède une forme d'une certaine régularité, pour arriver à une interprétation corporelle exacte de l'image perspective que nous offre, soit l'objet, soit un dessin qui le représente (1). Lorsque nous voyons le dessin d'une maison, d'une table ou d'autres produits de l'industrie humaine, nous pouvons admettre que leurs angles sont droits et que leurs surfaces sont planes, cylindriques ou sphériques. Cela suffit pour qu'un dessin en perspective nous permette de nous former une notion exacte de l'objet. Nous comprenons sans difficulté et nous interprétons correctement le dessin perspectif d'une maison ou d'un appareil de physique, alors même qu'il représente des détails très-compliqués. Si les ombres sont exactement reproduites, l'aperçu en devient encore plus facile. Mais c'est à peine si le dessin le mieux exécuté ou même la photographie d'un aérolithe, d'un bloc de glace, de certaines préparations anatomiques ou d'autres objets d'une conformation irrégulière, nous permettent de nous représenter la forme solide de ces objets. C'est ainsi que les photographies de paysages, de rochers, de glaciers, ne présentent souvent à l'œil qu'une confusion presque inintelligible de taches grises, tandis qu'une combinaison stéréoscopique d'images de ce genre donne la représentation la plus saisissante de la nature.

Quand on regarde de ces produits de l'industrie humaine, formés principalement de parallélipipèdes rectangulaires, de surfaces cylindriques et sphériques, en s'en rapprochant suffisamment pour que les parties antérieures se présentent sur la rétine à une échelle notablement

(1) Recklinghausen, in *Archiv für Ophthalmologie*, V, 2, p. 163.

plus grande que les parties postérieures, la représentation perspective exacte qu'on en obtient ne permet, en général, qu'une seule interprétation, et il est facile de reconnaître la position plus ou moins reculée des différentes parties. Mais si le point de vue est très-éloigné ou si les objets ne présentent qu'un très-faible relief, l'interprétation peut devenir indécise. C'est une observation de ce genre qu'a faite Sinsteden (1) sur un moulin à vent dont il ne voyait plus que la silhouette uniforme et foncée se détacher sur le ciel, à l'approche de la nuit. Lorsqu'il était placé de manière à voir le moulin à peu près de trois quarts, les ailes paraissaient tourner tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. En effet, dans ces conditions, l'observateur ne sachant pas quel est le côté que lui présente le moulin, ignore si c'est par-devant ou par derrière qu'il voit obliquement le plan des ailes; or, suivant que la première ou la seconde de ces interprétations est la vraie, le côté de l'ellipse que paraissent décrire les extrémités des ailes au moment où elles sont le plus près de l'observateur doit lui paraître plus près ou plus loin du bâtiment. Suivant qu'il adopte l'une ou l'autre interprétation, il croit voir monter ou descendre les extrémités des ailes pendant cette moitié de leur course : le changement d'interprétation est donc accompagné d'une inversion du mouvement apparent des ailes. Il semble que ce soit le hasard qui nous fasse choisir d'abord l'une ou l'autre interprétation. Il n'est pas, non plus, toujours possible de déterminer les raisons pour lesquelles le phénomène se renverse parfois tout à coup ; cependant on peut provoquer volontairement le changement, en se représentant vivement les conditions qui donneraient lieu au mouvement opposé. Dès que l'on perçoit l'impression sensuelle comme s'accordant avec cette représentation, celle-ci s'impose avec la force d'une notion acquise par les sens.

C'est encore le lieu de citer le dessin suivant, indiqué par Schröder (2), et qui est représenté sans ombre par la figure 188 (p. 796). — De prime abord, on le considère comme la projection géométrique d'un escalier, le plan *a* étant plus rapproché de l'observateur que le plan *b*, qui représente le mur auquel sont adossées les marches. Mais on peut aussi le considérer comme représentant un pan de mur en surplomb, *b*, qui se termine en bas et à gauche en forme de gradins, la surface *b* étant alors plus rapprochée que *a*, et l'observateur regardant les degrés d'en bas et du côté gauche. La première interprétation nous étant plus familière, c'est elle qui se présente ordinairement en premier à notre idée ;

(1) *Pogg. Ann.*, CXI, 336-339. — MOHR, *ibid.*, 638-642.
(2) *Poggendorff's Annalen*, CV, 298.

cependant, et sans motif appréciable, elle fait souvent place, tout à coup, à la seconde. Dès que je me représente vivement l'une ou l'autre forme, j'en acquiers aussitôt la notion en présence de la figure. Quand on n'arrive pas à remplacer, à volonté, la première notion par la seconde, on peut y parvenir, d'après l'observation de Schröder, en faisant tourner lentement le livre de 180° dans son plan, sans cesser de regarder la figure. Alors la surface *a*, que l'observateur s'est représentée comme la plus rapprochée, conserve cette position relative, et, après la rotation, on a exactement la même figure qu'en commençant, à cela près que les lettres *a* et *b* sont transposées, et que c'est le plan vertical situé à droite et en haut qui est devenu le plus rapproché. Schröder donne, de cette figure, deux dessins ombrés de deux manières différentes, ce qui ne change rien au résultat.

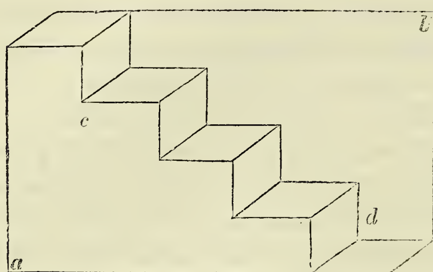


Fig. 188.

Le rhomboèdre de Necker (1) offre l'exemple d'un renversement analogue à celui que présente la figure 188 ; de plus, on sait que le changement d'interprétation est facilité en regardant successivement le sommet le plus rapproché et le sommet le plus éloigné du rhomboèdre. La figure 188 donne peut-être aussi plus facilement lieu à la seconde représentation lorsqu'on regarde en *d*, la première se reproduisant aussitôt qu'on vient à porter le regard en *c*.

On peut observer des effets analogues sur un grand nombre de dessins linéaires perspectifs, ceux, par exemple, qui représentent des corps réguliers, des cristaux, etc., en projection géométrique (c'est-à-dire vus d'un point infiniment éloigné). Le même bord ou angle peut paraître tantôt rentrant, tantôt saillant. Souvent la représentation change spontanément. Mais je trouve qu'on peut toujours la modifier volontairement lorsqu'on se représente vivement une autre interprétation.

De ces observations se rapprochent celles qu'on a faites sur le renversement apparent du relief des moules de médailles, mais où s'ajoute l'influence de l'ombre. — Si l'on place le moule creux de plâtre ou

(1) *Edinburgh philos. journ.*, 1832, I, 334. — *Poggend. Ann.*, XXVII, 502. — Aubert, Physiologie der Netzhaut, Breslau, 1865, p. 320.

de stéarine d'une médaille de manière qu'il soit éclairé sous une incidence oblique par la lumière du jour, ce qui produit des ombres bien marquées, en le regardant avec un œil, il arrive facilement qu'on croit voir un modèle en relief de la médaille. Lorsqu'on regarde le moule binoculairement, l'illusion cesse le plus souvent ; il en est de même lorsqu'on déplace la tête ou l'objet : l'illusion se produit d'autant plus facilement que l'œil et l'objet sont plus immobiles. Elle est surtout presque inévitable, Schröder a insisté sur ce point, lorsque la médaille représente une tête ou un corps humain, des animaux, des feuilles ou d'autres objets analogues ; l'illusion manque bien plus souvent quand il n'y a que des lettres ou des ornements.

Il se produit en même temps une illusion particulière sous le rapport de l'éclairage. En effet, sur une empreinte, les ombres se forment sur les parties tournées vers la fenêtre, les parties opposées étant éclairées, tandis que c'est le contraire qui a lieu pour une forme en relief. Alors donc que l'empreinte nous présente l'aspect d'un relief, elle paraît éclairée comme si le jour venait du côté opposé à la fenêtre. De plus, un relief éclairé sous une incidence aussi oblique devrait projeter, sur le fond plan, une ombre portée notable qui fait naturellement défaut sur le moule vu en relief. Il résulte de là, d'après l'expression de Schröder, une sorte d'éclairage magique du relief, qui semble venir du dedans. Je crois que la raison en est que l'ombre portée fait défaut sur le fond plan, qui, pour ce motif, paraît éclairé comme par transparence.

Du reste, ainsi que Rittenhouse et beaucoup d'autres après lui l'ont déjà remarqué, on peut augmenter et faciliter l'illusion en renversant l'éclairage du moule. — On peut arriver à ce résultat, comme Oppel l'a fait dans son *Anaglyptoscope* (1), en arrêtant par un écran la lumière de la fenêtre et en disposant, du côté opposé, un miroir que l'observateur ne voit pas ; l'éclairage redevient exact, bien que l'absence d'ombre portée lui communique toujours un aspect étrange, surtout lorsque le relief est très-prononcé. L'observation à travers une lentille qui renverse l'image présente en outre l'avantage d'isoler le dessin d'avec les objets qui l'entourent ; elle exige de plus une position invariable de l'œil, car les mouvements feraient disparaître l'image de la médaille derrière les bords de la lentille. Toutes ces circonstances favorisent l'illusion. Il n'est donc pas étonnant que ce soit sur de semblables images renversées, produites par des lentilles ou des miroirs, qu'on ait d'abord remarqué l'illusion en question.

S'il est, en général, bien plus difficile de voir des reliefs remplacés

(1) *Poggendorff's Annalen*, XCIX, 466-469.

par des creux, c'est ce qui me paraît tenir à ce que les reliefs présentent ordinairement quelques ombres portées qui empêchent de prendre leurs convexités pour des formes concaves.

D. Brewster (1) a décrit une illusion particulière qui peut trouver sa place ici : des empreintes de pas dans le sable lui ont présenté l'aspect d'un relief. Il se trouva que le vent y avait apporté et réuni sur un bord du sable plus clair, de sorte que ce bord paraissait plus fortement éclairé. — La lune, observée pendant le jour avec une lunette astronomique, présente souvent, comme le fait remarquer Schweizer, un renversement du relief.

Schröder appelle encore l'attention sur quelques autres illusions du même genre. Lorsque nous plaçons une bande rectangulaire de papier sur une table horizontale et que nous la regardons obliquement de haut en bas, à travers une lentille renversante, si le renversement était régulier, le bord supérieur de l'image du papier et de la table devrait paraître plus rapproché de l'observateur que le bord inférieur. Mais, en général, c'est le contraire qui a lieu ; nous croyons voir la table et le papier dans leur position véritable et si nous plantons obliquement, dans le papier, une aiguille mince dont une lampe placée convenablement projette une ombre portée bien nette, le même renversement nous fait souvent prendre l'image de l'ombre pour celle de l'épingle, et inversement. Brewster fait remarquer que, dans ce genre d'illusion, nous prenons aisément pour un relief une entaille pratiquée dans le plan, parce que le côté le plus rapproché nous semble le plus éloigné.

Les ombres portées présentent une importance plus grande encore que les variations que subit l'éclairage des faces d'un corps avec leur inclinaison par rapport aux rayons incidents. — Lorsque nous voyons une surface éclairée, le corps éclairant doit se trouver *en avant* de cette surface, et si elle reçoit une ombre portée, il faut que le corps qui projette cette ombre soit également placé *en avant* de cette surface. (Les expressions d'*avant* et d'*arrière* se rapportent ici à la surface et non à l'observateur.) Il résulte donc de là un rapport géométrique déterminé entre le corps qui projette l'ombre et la surface qui la reçoit. Nous verrons encore plus bas, à propos des phénomènes pseudoscopiques, combien est décisif le rôle des ombres portées dans l'interprétation des phénomènes visuels. Tout le monde sait, d'ailleurs, combien un dessin ombré donne une idée plus nette d'un objet qu'un simple trait, combien l'éclairage du lever et du coucher du soleil font mieux valoir les beautés

(1) *Athenæum*, 1860, 2, p. 24. — *Rep. of Brit. Assoc.*, 1860, 2, p. 7-8.

d'un paysage que l'éclairage de midi, surtout lorsqu'on est sur une hauteur. Cela ne tient pas seulement à la richesse plus grande des tons que donne le soleil lorsqu'il est près de l'horizon : la richesse plus grande des ombres fait mieux ressortir le modelé du terrain. En effet, peu de pentes sont assez rapides pour ne pas recevoir la lumière directe du soleil lorsqu'il est haut dans le ciel. Aussi, à peu d'exceptions près, tous les objets sont-ils éclairés vers le milieu du jour et les ombres sont-elles alors peu nombreuses ; par suite, les formes des montagnes et des vallées ressortent très-mal, tant qu'elles ne sont pas très-abruptes. Lorsque, au contraire, le soleil envoie des rayons obliques et donne beaucoup d'alternatives d'ombre et de lumière, tout devient bien plus net et plus compréhensible.

L'éclairage nous fournit encore une autre donnée pour apprécier les distances, et surtout celles des objets éloignés, je veux parler de ce que l'on appelle la *perspective aérienne*. — On comprend sous cette dénomination l'obscurcissement et le changement de couleur que les images d'objets éloignés subissent par le fait de la transparence incomplète des couches d'air qui séparent ces objets de l'observateur. L'air, lorsqu'il contient un peu d'eau à l'état de brouillard, ce qui a lieu pour les couches les plus basses, surtout dans le voisinage des grands cours d'eau, agit comme un milieu trouble, qui paraît bleu lorsqu'il est éclairé devant un fond sombre, et qui colore en rouge la lumière d'objets éclairés qui le traverse. Plus la couche d'air est épaisse entre l'œil de l'observateur et l'objet éloigné, plus la coloration de cet objet se modifie, soit en bleu, lorsqu'il est plus sombre, soit en rouge, lorsqu'il est plus clair que la couche d'air interposée. C'est ainsi que les montagnes éloignées paraissent bleues, que le soleil couchant paraît rouge.

C'est surtout lorsque l'air présente une transparence bien plus grande ou bien moindre que de coutume, que nous pouvons facilement constater l'influence exercée sur notre jugement par la perspective aérienne. — Dans le premier cas, les chaînes de montagnes éloignées paraissent bien plus rapprochées et plus petites qu'à l'ordinaire ; dans le second, elles paraissent plus grandes et plus éloignées. C'est sur cette circonstance que repose une illusion à laquelle l'habitant de la plaine n'échappe pas quand il arrive dans un pays de montagnes. En plaine, et surtout dans le voisinage de grandes nappes d'eau, l'air est ordinairement trouble, tandis que, dans les pays de montagnes, il présente ordinairement une transparence extrême ; il en résulte que les sommets des montagnes éloignées, surtout lorsqu'ils sont couverts de neige et éclairés par le soleil, apparaissent au voyageur avec une netteté qu'il n'a encore ren-

contrée qu'en regardant des objets rapprochés ; aussi commet-il, en moins, des erreurs énormes dans l'appréciation des distances et des hauteurs, jusqu'à ce que quelques courses sur le terrain lui aient appris, souvent à ses dépens, à mieux évaluer les distances.

Ici vient se placer encore la célèbre question de savoir pourquoi la lune paraît plus grande lorsqu'elle est près de l'horizon, bien que la réfraction des rayons dans l'atmosphère doive diminuer alors son diamètre vertical. Ptolémée et les astronomes arabes (1) savaient déjà que si la lune nous paraît plus grande à l'horizon, c'est qu'elle nous y semble plus éloignée. Le fond de la question est donc de savoir pourquoi la voûte céleste nous paraît plus éloignée à l'horizon qu'au zénith. On en a donné une foule de raisons, et je crois effectivement que cela ne tient pas à une cause unique, mais au concours de plusieurs circonstances, ce qui rend difficile de démêler quelle est la cause qui prédomine dans chaque cas particulier.

Il faut d'abord se rappeler qu'il n'y a aucune raison décisive pour que la voûte étoilée nous présente la forme d'une surface sphérique régulière. Nous y voyons des objets infiniment éloignés; de là, il ne résulte qu'une chose, c'est que, sous l'influence de n'importe quelle autre cause, elle peut présenter la forme de toute autre surface. Si nous étions suspendus dans l'espace, de manière à pouvoir en embrasser du regard, simultanément et uniformément toute l'étendue, ou si le ciel exécutait une rotation assez rapide pour qu'il nous fût possible d'en recevoir une véritable notion sensuelle, il y aurait quelque raison de le considérer comme sphérique. Mais, en réalité, la position et la forme apparentes de l'espace varient considérablement pour nous avec les objets terrestres qui entourent la partie que nous en voyons, et avec la hauteur plus ou moins grande de notre point de fixation. Nous verrons plus loin que, lors de la fixation binoculaire et tranquille d'un point, nous avons de la tendance à confondre l'espace qui l'environne avec un plan perpendiculaire à la ligne de regard momentanée.

Il en est tout autrement pour un ciel parsemé de nuages. — Le plus souvent, les nuages sont assez éloignés de nous pour que les données fournies par la vision binoculaire et les mouvements de notre corps ne nous apprennent rien, ou autant dire rien, au sujet de leur distance. Mais ils affectent souvent la disposition de bandes parallèles; ils se meuvent ordinairement tous dans le même sens et avec une vitesse constante

(1) MONTUCLA, Histoire des Mathém., I, 309, 352. — ROGERI BACONIS Perspect., p. 118. — PORTA, De refractione, p. 24, 128. — PRIESTLEY, Geschichte der Optik, Periode 6, Kap. 8.

sur la voûte céleste; près de l'horizon, ils paraissent former des bandes plus étroites, comme s'ils se présentaient par la tranche, et l'éclairage permet souvent de reconnaître, en effet, que l'on a affaire à des corps allongés horizontalement et raccourcis par la perspective. Tout cela peut servir à nous faire reconnaître que la véritable forme du ciel nuageux est celle d'une voûte très-surbaissée. A l'horizon, ces renseignements venant à nous faire défaut, les nuages nous paraissent peints uniformément, comme les montagnes, sur une surface qui relie la terre avec la voûte céleste. Comme aucun élément de la sensation ne nous permet de faire une différence entre la distance du ciel nuageux et celle du ciel étoilé, il paraît tout naturel d'attribuer à ce dernier la forme véritable du premier, en tant que nous pouvons la distinguer; et c'est ainsi que nous sommes amenés à attribuer au ciel, sans préciser davantage, la forme d'une coupole surbaissée.

Du reste, l'augmentation de grandeur de la lune ou du soleil ne se présente d'une manière bien décisive et même surprenante que lorsque l'air est très-brumeux à l'horizon, et que ces astres n'apparaissent plus qu'avec une faible intensité lumineuse. Ils présentent alors le même effet que les montagnes éloignées; ils paraissent bien plus éloignés, et, par conséquent, plus grands que lorsque l'air est serein. L'effet peut être encore renforcé par la présence, à l'horizon, d'objets terrestres convenables. Ainsi, lorsque la lune se couche à côté ou derrière une cime d'arbre éloignée d'environ un kilomètre, et qui mesure 10 mètres de diamètre, l'astre se présente sous le même angle visuel que l'arbre, mais comme on le voit situé à une distance plus grande, on le considère comme bien plus grand. Lorsque la lune se couche, au contraire, derrière un horizon dont le profil uni ne nous offre aucun objet de comparaison, rien ne nous apprend que sa faible grandeur apparente répond à une grandeur absolue très-considérable.

Lorsqu'à l'aide d'une lame de verre à faces parallèles on projette une image réfléchie de la lune qui paraisse voisine de l'horizon, je ne trouve pas que cette image paraisse sensiblement plus grande que la lune vue directement au haut du ciel, bien que l'on puisse facilement comparer la grandeur apparente de la lune réfléchie avec celle des corps terrestres que l'on voit en même temps; l'image réfléchie ne présente pas, en effet, l'apparence d'un objet qui serait vu à travers la partie brumeuse de l'atmosphère.

Il me semble également que l'augmentation de grandeur apparente à l'horizon se manifeste d'une manière bien plus sensible pour la lune que pour le soleil; car lorsqu'on peut encore reconnaître la forme du soleil, il est en général encore trop lumineux pour qu'on puisse le

regarder bien commodément, et, par conséquent, comparer immédiatement ses dimensions avec celles d'objets terrestres situés à l'horizon. Lorsque le ciel est très-serein, l'illusion n'est même pas très-évidente pour la lune. Elle dépend toujours, à un degré très-élevé, de l'état de l'atmosphère.

Les éléments indiqués jusqu'ici sont les seuls que les peintres puissent utiliser pour nous donner, par des peintures ou des dessins plans, une représentation des objets à trois dimensions. Leur tâche est bien plus facile lorsqu'il s'agit d'objets dont la forme est bien connue ou géométriquement régulière ; la première condition est remplie en particulier lorsqu'il s'agit de peindre des êtres vivants ; les maisons, les ustensiles et tous les produits de l'industrie humaine, satisfont à la seconde. Ces différents objets n'exigent, le plus souvent, qu'un dessin perspectif exact, et l'application exacte des ombres suffit pour donner une idée très-vive de la nature. On sait que les portraits des anciens maîtres se distinguent par la manière vigoureuse dont les ombres sont traitées, et qui donne au modelé un relief si remarquable. Quelle que soit l'exactitude d'un portrait, si le modèle était comme noyé dans la lumière, de manière à ne présenter que de faibles ombres, l'impression de ressemblance n'est vive que tant qu'on continue à voir souvent la personne représentée ; mais quand cette condition vient à manquer, le portrait cesse bientôt de paraître vivant. La tâche du peintre est plus difficile lorsqu'il doit représenter des objets de forme irrégulière, des paysages, des montagnes, des rochers. L'addition de personnages et de *fabriques* de toute espèce fournit alors un puissant secours pour indiquer approximativement la distance des objets représentés ; mais les moyens principaux sont la perspective aérienne et les ombres. Aussi, les différents modes d'éclairage sont-ils loin de se prêter également à la représentation d'un même paysage. Une transparence imparfaite de l'air et un soleil rapproché de l'horizon sont des conditions presque nécessaires pour rendre bien intelligibles les formes du paysage, sans parler des colorations plus riches et plus variées qui apparaissent alors, et qui en rehaussent encore la beauté.

Les moyens que nous avons étudiés jusqu'ici, et qui servent à l'appréciation de la troisième dimension, présentent également de l'intérêt et de l'importance au point de vue psychologique, parce que leur examen nous a donné l'occasion de voir quelle est l'influence de l'expérience sur nos perceptions sensuelles, qu'on aurait pu croire acquises d'une manière immédiate et sans le concours d'aucune action psychique. — Nous ne pouvons avoir appris que par l'expérience les lois si variées de l'éclairage, de l'ombre portée, de la perspective aérienne, de

la formation et de l'échelonnement des perspectives géométriques des différents corps, la grandeur des hommes et des animaux, etc.; du moins, aucun partisan des notions innées n'a encore osé attribuer à ces connaissances une origine innée, et l'on a vu qu'il est facile de démontrer directement, sur les enfants, que quelques-unes de ces notions, celles dont la formation demande une longue habitude, ne s'acquièrent que longtemps après la naissance. Et cependant ces données suffisent, dans un grand nombre de circonstances, pour éveiller en nous des notions parfaitement vives, et comme sensuelles, des formes et des conditions d'espace, sans que nous ayons aucunement conscience du rôle que vient jouer la comparaison entre l'impression actuelle et les impressions préalables et analogues. L'image actuelle réveille en nous le souvenir de tout ce que nous avons rencontré d'analogue dans des images visuelles antérieures, le souvenir de toutes les autres circonstances que nous avons toujours rencontrées avec ces images, comme, par exemple, la notion du nombre de pas que nous avons été obligés de faire pour arriver près d'un homme dont l'image présentait une certaine dimension dans le champ visuel, etc. Ces associations de représentations sont aussi inconscientes qu'involontaires; bien que leur production soit soumise aux lois de notre esprit, elles s'imposent comme par une force naturelle aveugle; elles paraissent le faire au même titre que les impressions venant actuellement du dehors, et, par conséquent, tout ce que ces associations d'idées, fondées sur les expériences préalables, ajoutent à nos sensations du moment, se présente à nous, tout aussi bien que ces sensations elles-mêmes, comme immédiatement donné, sans intervention active de notre part : les résultats ainsi obtenus ne paraissent donc pas se distinguer de la perception directe, tandis qu'en réalité, ce ne sont que des représentations, dans la pure acception que nous avons attribuée à ce mot (voy. p. 571).

Les illusions au sujet du relief des médailles ou des dessins perspectifs, les cas, en général, où il peut y avoir incertitude entre deux interprétations, présentent à ce sujet un intérêt tout particulier. — Dans ces cas, nous trouvons qu'au premier aspect nous tombons involontairement dans l'une des deux interprétations, et, généralement sans doute, dans celle qui rappelle le plus grand nombre de souvenirs analogues; c'est ainsi que, pour les reliefs de têtes, nous sommes généralement portés à voir la forme convexe qui répond à la réalité. Dans d'autres cas, comme celui du moulin à vent de Sinsteden, notre indécision nous fait osciller involontairement entre les deux interprétations, et des circonstances accessoires, telles que des mouvements de l'œil, nous font pencher tantôt vers l'une tantôt vers l'autre analogie. Mais nous

pouvons encore produire alors volontairement un changement de l'interprétation, lorsque nous évoquons vivement en nous la représentation de l'image opposée, jusqu'à ce que l'analogie de cette idée avec l'image en présence de laquelle nous nous trouvons exerce son influence sur la représentation obtenue, qui persiste alors d'elle-même et sans aucun nouvel effort. Mais pendant le temps qu'elle subsiste, elle se maintient avec toute l'énergie d'une perception sensuelle, et lorsque, par suite d'une circonstance nouvelle quelconque, nous revenons à l'autre interprétation, celle-ci reprend à son tour le même degré de netteté et de certitude, bien que la pensée consciente ne nous permette pas d'ignorer qu'il s'agit d'une notion équivoque.

II. — Passons maintenant à la seconde classe des données sur lesquelles repose la perception de la troisième dimension; à savoir celles qui ont pour base des sensations déterminées.

1) Parmi ces éléments, voyons d'abord ce que peut donner l'*accommodation de l'œil.* — Il est hors de doute qu'une personne qui a beaucoup étudié les variations de son accommodation et qui connaît la sensation de l'effort musculaire qu'exigent ces changements, est à même de dire si elle accommode pour une distance grande ou petite, au moment où elle fixe un objet ou une image optique. Mais l'évaluation de la distance, à l'aide de ce moyen, est excessivement imparfaite. Wundt a fait des expériences à ce sujet (1); l'observateur regardait avec un œil, à travers une ouverture pratiquée dans un écran fixe, vers un fil noir tendu verticalement. Un tableau blanc formait le fond. Le fil était mobile le long d'une échelle divisée horizontalement et pouvait être mis à une distance déterminée de l'observateur. Dans ces conditions, il n'était possible de donner sur la distance absolue du fil que des indications à peu près nulles; mais lorsqu'on lui donnait successivement deux positions différentes, la variation de l'accommodation permettait bien de reconnaître si l'on avait rapproché ou éloigné le fil. Cependant, on distinguait plus nettement le rapprochement que l'éloignement; le premier de ces mouvements étant accompagné d'un effort actif de l'appareil de l'accommodation. Mais à mesure que l'œil se fatiguait, l'incertitude augmentait également dans la perception du rapprochement. Le tableau suivant (p. 805) contient les résultats trouvés par Wundt.

Pour deux fils tendus simultanément à des distances différentes, les

(1) Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, Leipzig und Heidelberg, 1862, p. 105-118.

résultats furent les mêmes que pour un seul fil qu'on déplaçait en le rapprochant.

DISTANCE ENTRE LE FIL ET L'ŒIL.	LIMITES DE LA DISTINCTION.	
	POUR LE RAPPROCHEMENT.	POUR L'ÉLOIGNEMENT.
250 centimèt.	12	12
220	10	12
200	8	12
180	8	12
100	8	11
80	5	7
50	4,5	6,5
40	4,5	4,5

A l'extrémité d'un tube noirci intérieurement, j'ai disposé un écran percé de deux fentes verticales recouvertes l'une d'un verre rouge, l'autre d'un verre bleu. Il me fallait un effort d'accommodation notablement plus considérable pour voir nettement la ligne rouge que pour la bleue. Après de nombreux essais, il finissait par se produire l'impression d'une ligne rouge plus rapprochée que la ligne bleue ; mais l'illusion se produisait avec difficulté et disparaissait facilement : pour la maintenir, il était nécessaire de ne pas cesser d'accommoder alternativement pour les deux lignes. L'illusion se produisait plus facilement en faisant la bande rouge un peu plus large, de manière à lui donner l'aspect d'un objet plus rapproché.

2) Un moyen d'apprécier les distances, plus important et plus exact que tout ce qui précède, repose sur la comparaison des images perspectives que présente un objet lorsqu'on le regarde sous des points de vue différents. — Ce mode de comparaison peut se pratiquer de deux manières : soit monoculairement, en déplaçant la tête et le corps, soit binoculairement, à l'aide des deux images différentes que le même objet fournit simultanément aux deux yeux. Comme les deux yeux occupent une position un peu différente dans l'espace, ils voient aussi, sous des points de vue un peu différents, les objets placés devant nous et les images qu'ils reçoivent de ces objets présentent, par suite, la même différence que les images successives que recevrait le même œil en se déplaçant d'une quantité correspondante dans l'espace.

Lorsque nous marchons, les objets qui sont immobiles le long de notre chemin restent en arrière ; ils paraissent glisser devant nous

dans le champ visuel, en suivant une direction opposée à celle de notre mouvement. La même chose se produit, mais plus lentement, pour les objets éloignés, tandis que les objets très-éloignés, comme les étoiles, conservent une position invariable dans le champ de vision, tant que nous ne changeons pas la direction de notre corps et de notre tête. Il est facile de voir que, dans ces conditions, la vitesse angulaire apparente des objets dans le champ visuel est inversement proportionnelle à leur distance véritable ; de sorte que la vitesse du mouvement apparent peut permettre de tirer des conclusions certaines relativement à la distance réelle.

Les objets situés à des distances différentes présentent également un mouvement relatif apparent. Ceux qui sont les plus éloignés paraissent se déplacer, par rapport aux autres, dans le même sens que l'observateur ; les plus rapprochés paraissent se déplacer en sens opposé. Il résulte de là une notion très-nette de la différence de distance. Lorsque, par exemple, on s'arrête dans une forêt épaisse, on ne peut débrouiller que d'une manière confuse et grossière, la signification du fouillis de feuilles et de branches qui se présentent à la vue ; on ne peut pas décider si les branches appartiennent à tel ou à tel arbre, reconnaître leurs distances relatives, etc. Mais dès qu'on se met à marcher, tout se détache et l'on obtient aussitôt la notion de la position relative des différents objets, comme si l'on en voyait une bonne image stéréoscopique.

On conçoit facilement que, dans la sensation immédiate, ce déplacement relatif apparent des troncs, des branches et des feuilles doit distinguer la forêt véritable de toute peinture, quelque parfaite qu'elle soit. Lorsque nous marchons devant la surface plane d'un tableau, la position apparente relative de ses différentes parties, dans le champ visuel, reste absolument inaltérée. Celles qui représentent des objets éloignés se déplacent, par rapport à l'observateur, absolument de la même manière que les parties adjacentes du tableau qui répondent à des objets rapprochés. Une peinture ne peut jamais donner l'aspect d'un objet que pour un seul point de vue fixe. Pour que l'illusion soit aussi complète que possible, il faut que l'observateur ne se déplace pas : tout mouvement fait immédiatement tomber sous le sens la différence qui existe entre l'original et le tableau.

Les objets rapprochés se déplacent plus rapidement que les objets éloignés. Aussi lorsque nous sommes animés d'une vitesse insolite, en chemin de fer, par exemple, les objets qui glissent rapidement devant nous, nous paraissent aisément plus rapprochés, et, par suite, plus petits qu'ils ne sont en réalité. C'est là une illusion d'optique qui est

observée et décrite par un grand nombre de personnes (1). Quant à moi, je n'ai jamais pu voir bien nettement cette diminution ; il existe, en effet, un grand nombre d'illusions qui disparaissent lorsqu'on s'habitue à concentrer l'attention sur les phénomènes visuels, parce que l'observateur est exercé à rendre son jugement indépendant des influences perturbatrices.

On peut souvent appliquer aux recherches scientifiques les déplacements relatifs apparents des objets situés à des distances différentes. — Ainsi, lorsqu'il s'agit de placer exactement le réticule d'une lunette sur l'image de l'objet, il suffit de balancer un peu l'œil devant l'oculaire, de droite à gauche et *vice versâ.* On voit alors immédiatement si le réticule reste immobile ou non par rapport à l'image. Dans le premier cas seulement il coïncide avec l'image ; dans le second cas, il est situé plus en avant ou plus en arrière, et l'on voit aussitôt dans quel sens il faut le faire mouvoir.

On sait que la détermination des parallaxes des étoiles fixes repose sur le même déplacement apparent ; seulement le mouvement de l'observateur y est remplacé par celui de la terre autour du soleil.

Je crois aussi que c'est principalement à l'aide des modifications imprimées à l'image rétinienne par les mouvements du corps, que les personnes borgnes peuvent acquérir des notions exactes sur les formes solides des objets qui les entourent. Si nous regardons monoculairement des objets irréguliers et inconnus, la représentation que nous obtenons de leur forme est fausse, ou tout au moins incertaine. Mais aussitôt que nous nous déplaçons, nous obtenons une notion exacte. Cela est surtout frappant lorsqu'on regarde les feuillages en marchant un peu vite dans un bois : il est à peu près impossible, dans ces conditions, de remarquer une amélioration dans l'interprétation des objets en faisant usage des deux yeux au lieu d'un seul.

Il ne faut donc pas oublier ce point, sur lequel on n'a pas encore toujours porté toute l'attention nécessaire : dans toutes les expériences d'optique physiologique où il s'agit d'apprécier la distance d'une image ou d'un objet vu d'une manière quelconque, il faut avoir bien soin de ne pas déplacer la tête par rapport à l'objet : il en résulterait aussitôt une détermination relativement assez bonne et assez exacte de la distance véritable, à l'aide des déplacements apparents ainsi produits.

3) Les modifications de l'image rétinienne par suite du mouvement ne nous indiquent les différences de distance qu'à l'aide de la compa-

(1) Dove, in *Poggendorff's Annalen*, 1847, LXXI, p. 118.

raison que nous établissons entre l'image actuelle et celles qui l'ont immédiatement précédée dans l'œil, et dont nous avons conservé le souvenir. Nous avons déjà insisté, à propos du contraste, sur ce fait qu'une comparaison est bien plus incertaine lorsqu'elle se fait à l'aide de la mémoire que quand elle a pour objet deux sensations simultanées. C'est pour ce motif que l'appréciation des distances à l'aide des images simultanées des deux yeux est bien plus complète, plus sûre et plus exacte que celle qu'on peut obtenir par des mouvements de la tête tels que leur amplitude n'excède guère la distance qui sépare les deux yeux.

Chaque œil nous présente une image perspective des objets situés devant nous. Mais comme les deux yeux n'occupent pas la même position dans l'espace et que, par suite, ils regardent les objets sous des points de vue un peu différents, il en résulte que les deux images perspectives qu'ils en projettent, diffèrent aussi légèrement entre elles. Lorsque je tiens une feuille de papier de manière qu'elle se trouve dans le prolongement du plan médian de ma tête, j'en vois le côté droit avec l'œil droit et le côté gauche avec l'œil gauche. Pour mon œil droit, l'extrémité la plus éloignée de ce papier paraît à droite de l'extrémité la plus rapprochée; c'est le contraire pour mon œil gauche. En y apportant quelque attention, on découvre beaucoup de différences de ce genre, plus ou moins sensibles, toutes les fois qu'on regarde alternativement avec les deux yeux un certain nombre d'objets différemment éloignés. Ces différences sont du même genre et de la même valeur que celles qui se produisent lorsqu'on regarde le champ de vision avec un œil, en déplaçant cet œil d'une distance égale à l'intervalle des deux yeux.

Si l'on regarde, au contraire, un tableau ou un dessin plan, les deux yeux reçoivent absolument la même image rétintenne, — abstraction faite des modifications perspectives que le plan même du tableau peut subir dans les deux images rétiniennes, — tandis que si l'objet représenté par le tableau n'est pas plan, il produirait nécessairement des images rétiniennes différentes dans les deux yeux. C'est donc là un nouveau signe par lequel, dans la notion sensuelle immédiate, l'aspect de tout objet à trois dimensions se distingue de celui que présente une image plane du même objet.

Il est également évident qu'étant données les positions des deux images rétiniennes d'un point lumineux, on peut en déduire, sans indétermination, la position de ce point, tout au moins pour les recherches scientifiques, même si cette conséquence n'est pas nécessairement exacte relativement à notre conscience. Faisons passer une ligne droite par chaque image rétinienne et le point nodal de l'œil correspondant; comme

nous nous l'avons fait voir, le point lumineux se trouve nécessairement sur chacune de ces lignes de direction : il est donc à leur intersection.

Ainsi, tandis que la vision monoculaire, avec immobilité de la tête, ne détermine que la direction sur laquelle se trouve le point perçu, la vision binoculaire donne des faits d'observation suffisants pour déterminer de plus la distance de ce point, au moins en tant que les données obtenues présentent une exactitude suffisante et qu'il en est fait un usage convenable. En général, l'exactitude de la détermination de la distance est d'autant moindre que cette distance est elle-même plus grande, puisque les objets très-éloignés ne donnent plus d'images sensiblement différentes dans les deux yeux.

On acquiert, par ce moyen, des notions sensuelles de distance excessivement exactes et nettes. C'est ce que l'on peut démontrer à l'aide des *images stéréoscopiques,* images qui représentent les deux aspects que produit un objet dans les deux yeux d'un observateur.

Nous avons vu qu'une seule image plane, vue avec les deux yeux, doit produire constamment une impresssion autre que la vue de l'objet même qu'elle représente. Mais si nous montrons à chaque œil une image différente : à chacun celle qui s'y présenterait à l'aspect de l'objet lui-même, nous sommes à même de produire, sur les deux rétines, la même impression que produirait réellement l'objet à trois dimensions ; aussi les deux images nous donnent-elles, dans ces conditions, la même notion corporelle que l'objet lui-même.

Ainsi, les deux images qui doivent produire un effet stéréoscopique, doivent répondre à deux perspectives différentes du même objet, prises à des points de vue différents. Elles ne peuvent donc pas être pareilles, il faut, au contraire que, comparées avec celles des points infiniment éloignés, les images des points rapprochés soient d'autant plus à gauche, dans le dessin destiné à l'œil droit,—et d'autant plus à droite dans celui destiné à l'œil gauche, — que les objets eux-mêmes sont plus rapprochés de l'observateur. Si l'on se figure donc les dessins superposés de telle sorte que les images des points infiniment éloignés coïncident entre elles, les images des objets rapprochés seront d'autant plus écartées que ces objets sont plus voisins. On peut donner à cette distance le nom de *parallaxe stéréoscopique.* Cette parallaxe est positive si les points considérés sont déviés à gauche pour l'œil droit et à droite pour l'œil gauche. La parallaxe stéréoscopique offre la même valeur pour tous les objets qui sont à la même distance du plan du dessin.

Si le dessin ne représente pas de points infiniment éloignés, on ne peut déterminer que les différences de la parallaxe stéréoscopique par

rapport à un point quelconque de l'objet. La parallaxe par rapport à ce point de départ est alors positive pour les autres points plus rapprochés, et négative pour les points plus éloignés.

Désignons par $2a$ l'intervalle qui sépare les deux yeux, par b la distance entre le dessin et les yeux, par ρ la distance de l'objet à un plan parallèle au dessin et passant par les yeux, et par e la parallaxe stéréoscopique, on a

$$e = \frac{2ab}{\rho};$$

cette parallaxe est donc d'autant moindre que l'objet est plus éloigné et elle devient nulle lorsque l'objet est à une distance infinie.

Les images *stéréoscopiques* correspondantes doivent, dans ces expériences, être amenées devant les yeux de manière que les points infiniment éloignés s'y présentent dans la même position pour les deux yeux. On peut atteindre cet effet sans instrument en plaçant les deux images côte à côte, de telle sorte que les points homonymes y présentent à peu près la même distance que les points nodaux des deux yeux de l'observateur. Si l'observateur dispose alors ses lignes visuelles en parallélisme, il voit les deux images occuper une même position, et l'illusion stéréoscopique se produit. Il est vrai que l'œil droit ne voit pas seulement alors l'image droite, mais encore celle qui est destinée à l'œil gauche ; de même l'œil gauche voit, à droite de l'image commune, l'image destinée à l'œil droit. Lorsqu'on a trouvé la position convenable des yeux, on croit donc voir, l'une à côté de l'autre, trois images, dont les deux extrêmes ne sont vues chacune qu'avec un œil (celle de droite par l'œil gauche, et inversement) et ne présentent pas de relief, tandis que l'image intermédiaire, vue simultanément avec les deux yeux, offre l'apparence du relief.

Dans l'expérience telle qu'elle vient d'être décrite, la présence des trois images est gênante ; de plus, il faut accommoder pour près, tandis qu'il faut mettre les lignes visuelles en parallélisme, comme pour la vision d'objets éloignés, position où l'on est habitué à accommoder pour loin. Aussi faut-il quelque exercice pour voir ainsi les images stéréoscopiques, sans le secours d'un instrument. Du reste, l'illusion produite alors est tout aussi complète qu'avec l'emploi des instruments dont la description va suivre. Les personnes qui ne sont pas exercées facilitent la réussite de l'expérience en mettant verticalement entre leurs deux yeux un morceau de carton noir, ce qui supprime les images accessoires, et en tenant les dessins à une distance plus petite que celle des yeux. Avec un peu d'exercice, on réussit sans aucun secours de ce genre; et c'est même là le moyen le plus commode de passer en revue

une collection un peu nombreuse d'images stéréoscopiques. Au lieu de diriger les lignes visuelles à peu près parallèlement, on peut encore les faire converger sur un point plus rapproché que le dessin et amener les deux images stéréoscopiques à coïncider en tournant l'œil droit vers l'image gauche et inversement, de manière que les lignes de regard se coupent entre ces images et l'observateur. La position est alors la même que si l'on fixait le point d'intersection et c'est aussi là qu'apparaît l'image stéréoscopique, qui est, par conséquent, plus rapprochée des yeux que les dessins. Mais, dans cette expérience, il faut évidemment placer à gauche l'image destinée à l'œil droit, et réciproquement, sinon la parallaxe stéréoscopique serait négative et l'on obtiendrait un relief renversé, ainsi qu'il est facile de s'en assurer en plaçant l'un à côté de l'autre deux dessins linéaires sans ombres, comme des dessins de cristaux, et obtenant leur fusion alternativement par l'un ou l'autre des deux procédés indiqués.

Les instruments qui, sous le nom de *stéréoscopes*, servent à l'examen des images stéréoscopiques, n'ont pas d'autre but que de faciliter à l'observateur la recherche et le maintien de la position convenable des yeux, et d'éliminer les circonstances accessoires gênantes ; ils ne présentent aucun avantage essentiel quant à la production de l'illusion d'optique.

Le premier stéréoscope, dû à Wheatstone, est représenté en coupe par la figure 189. — La partie essentielle de l'instrument se compose de

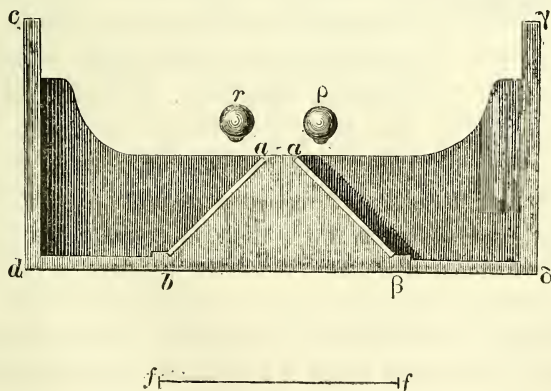


Fig. 189.

deux miroirs ab et $\alpha\beta$, inclinés de 45° sur l'horizon ; ce sont les surfaces supérieures de ces miroirs qui sont réfléchissantes. On voit en cd et $\gamma\delta$ des planchettes sur lesquelles on place les dessins. L'observateur, dont les yeux sont désignés par r et ρ, regarde de haut en bas vers les

miroirs. La lumière qui vient de *cd* est renvoyée à l'œil *r* par le miroir *ab* comme si elle venait de l'image catoptrique *ff*. Mais la lumière venant de $\gamma\delta$ est également renvoyée à l'œil ρ par le miroir $\alpha\beta$, comme si elle venait de *ff*. Les deux yeux croient donc voir l'image en *ff*, et si les deux images présentent des différences telles que les présenterait un objet situé en *ff*, l'observateur reçoit la même impression sensuelle que s'il voyait en *f*, non pas les images, mais le corps à trois dimensions. Comme les dessins sont vus ici à l'aide de miroirs, qui en donnent des images symétriques, il faut qu'ils aient une parallaxe stéréoscopique négative.

Le stéréoscope de Brewster, qui est actuellement le plus répandu, contient deux prismes *p* et π, à surfaces convexes, obtenus en débitant en morceaux des lentilles convexes épaisses, de $0^m,18$ de distance focale ; ces verres produisent le même effet optique que la combinaison d'un prisme à faces planes avec une lentille convexe. Les deux dessins *ab* et $\alpha\beta$ (fig. 190) se trouvent, l'un à côté de l'autre, sur la même feuille. L'œil droit *r*, regarde le dessin *ab*, à travers le prisme *p*; l'œil gauche ρ, regarde l'image $\alpha\beta$, à travers le prisme π; la cloison *g* empêche chaque œil de voir le dessin destiné à l'autre. Les rayons *cp* et $\gamma\pi$ émis par les dessins sont réfractés par les prismes, suivant les directions *pr* et $\pi\rho$, dont les prolongements se coupent en *q*. La convexité des surfaces des prismes a pour effet de diminuer en même temps la divergence des faisceaux lumineux, de sorte que chaque œil voit en $f\varphi$ une image du dessin qui lui est offert. L'objet apparaît en relief en $f\varphi$. Le tout est contenu dans une boîte de bois ; pour permettre également l'inspection d'images transparentes, on a disposé derrière les dessins $ab\alpha\beta$, une lame de verre mat. On met et l'on retire les dessins par des fentes *a* et β, convenablement pratiquées sur les côtés de la boîte.

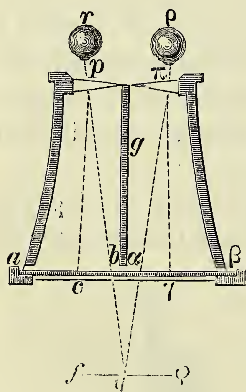


Fig. 190.

Le stéréoscope de Brewster est bien plus commode que celui de Wheatstone ; il est plus facile d'y éclairer uniformément les deux images ; on a, de plus, l'avantage d'un certain grossissement ; cependant il faut remarquer qu'à la séparation du clair et de l'obscur il se produit des bords irisés étroits, lorsque les prismes ne sont pas rendus achromatiques, condition qui n'est ordinairement pas remplie. — On trouvera plus loin la description d'autres formes de stéréoscopes.

Les effets du stéréoscope se manifestent de la manière la plus saisis-

sante à l'inspection de dessins qui ne représentent que des contours de corps et des surfaces, et où toutes les circonstances favorables accessoires de couleur, d'ombre, etc., font complétement défaut : les lignes noires n'en paraissent pas moins se détacher complétement du papier et se localiser dans l'espace. Les dessins de stéréotomie les plus compliqués, ceux qui représentent des cristaux et qui offrent à l'œil nu une confusion de lignes presque inextricable, se résolvent comme par enchantement pour donner l'apparence du relief.

Tandis que ce sont les dessins linéaires qui présentent de la manière la plus remarquable la différence entre l'examen stéréoscopique et l'inspection ordinaire, la vivacité de l'illusion est naturellement plus grande encore lorsqu'une représentation exacte des ombres vient contribuer à faire ressortir la forme des corps. Cependant il est presque impossible de rendre exactement, avec le crayon ou avec le pinceau, les différences si délicates qui existent entre les ombres des dessins que doivent recevoir les deux yeux, et la photographie permet seule d'atteindre, entre les deux images, la concordance exacte qui est nécessaire pour la production d'un bon effet stéréoscopique. Comme les photographies stéréoscopiques sont maintenant partout répandues dans le commerce, je puis admettre qu'elles sont connues du lecteur. On les produit en photographiant deux fois le même objet à partir de deux points de vue un peu différents. On peut le faire simultanément avec deux appareils, ou successivement avec le même. L'emploi de deux appareils est particulièrement nécessaire pour les objets qui varient rapidement. Lorsque les objets sont directement éclairés par le soleil, les ombres portées se déplacent souvent d'une manière notable entre la production de deux épreuves successives, car il se passe toujours bien 5 à 10 minutes jusqu'à ce que l'appareil soit préparé pour la deuxième image. L'emploi de deux appareils photographiques est encore bien plus nécessaire pour l'exécution des photographies dites instatanées d'objets mobiles, vagues, navires, chevaux, etc., pour lesquelles on réduit le temps de pose à une fraction de seconde par l'emploi d'un éclairage solaire intense et de préparations photographiques très-sensibles.

La vérité de ces photographies stéréoscopiques et la vivacité avec laquelle elles représentent le relief sont tellement frappantes que bien des objets, comme des édifices, que l'on connaît pour en avoir examiné des images stéréoscopiques, ne donnent plus, lorsqu'on les voit en réalité, l'impression d'un objet nouveau ou imparfaitement connu. Lorsqu'on se trouve en présence de l'objet lui-même, on n'acquiert, au moins sous le rapport de la forme, aucune notion nouvelle ni plus exacte que celle que l'on en possède déjà. L'avantage de la vision stéréoscopique tombe

surtout sous le sens en présence de reproductions d'objets qui se prêtent mal à la représentation par le dessin ou la peinture ordinaires; tels sont les rochers irréguliers, les blocs de glace, les objets microscopiques, les animaux, les forêts, etc. Les glaciers, en particulier, avec leurs fentes profondes éclairées par transparence à travers l'épaisseur de la glace, produisent un effet surprenant dans le stéréoscope. L'image unique donne ordinairement l'idée d'une accumulation confuse de taches grises, tandis que la combinaison stéréoscopique fait ressortir de la manière la plus palpable les formes des blocs de glace, ainsi que les effets de la lumière transmise et de la lumière réfléchie. La difficulté que l'on éprouve, dans ce cas, pour comprendre l'image unique, provient d'abord de ce que des formes aussi irrégulières que celles des blocs de glace ne peuvent pas être rendues nettement, même lorsqu'elles sont éclairées simplement par de la lumière incidente; elle est attribuable davantage encore à ce que la lumière transmise par la glace modifie complétement les lois ordinaires des ombres.

La représentation stéréoscopique d'objets brillants, tels qu'une eau ridée par quelques vagues légères, produit encore des effets très-surprenants; mais il nous faut renvoyer au paragraphe suivant l'étude de la représentation stéréoscopique du lustre.

Nous allons étudier maintenant quel est le degré d'exactitude avec lequel l'activité simultanée des deux yeux permet d'apprécier la troisième dimension du champ visuel. — Nous avons à distinguer, dans cette étude, l'*appréciation de la distance absolue des objets* et celle des *différences de distance* que présentent les différents points. Outre les données indiquées précédemment, la première de ces appréciations ne peut s'appuyer que sur la sensation du degré absolu de convergence que présentent les lignes de regard lorsqu'elles sont dirigées sur un certain point d'un objet; les différences des deux images rétiniennes ne sont d'aucune utilité sous ce rapport, ou du moins, à ce qu'il semble, celles des différences entre les images qui pourraient contribuer à cette appréciation sont, le plus souvent, trop insignifiantes pour pouvoir être d'une utilité réelle. — L'appréciation des différences de distance des différents points d'un objet s'appuie, au contraire, sur les différences que présentent les images dans les deux champs visuels. Elle pourrait se fonder, d'une part sur la perception des différences que présentent les deux images rétiniennes lorsque les lignes de regard sont immobiles, d'autre part sur les différences qui se produisent entre les mouvements des deux yeux, lorsque le point de fixation varie. Dans les expériences faites jusqu'à ce jour, il ne s'est encore manifesté, dans l'exactitude de la per-

ception, aucune différence en faveur, soit du mouvement, soit de l'immobilité des yeux : la comparaison des images rétiniennes paraît se faire avec une telle délicatesse qu'il est inutile de tenir compte des différences de mouvement. Cependant nous verrons plus loin que, notamment pour les images difficiles à combiner, l'évidence de l'illusion est singulièrement augmentée par les mouvements des yeux.

Commençons par l'appréciation des *différences de distance*, en tant que cette appréciation dépend de la comparaison d'images rétiniennes différentes ; mais il est bien entendu que les différences des images dans les deux champs visuels ne se manifestent pas par elles-mêmes : les différences de distance qui résultent de ces différences des images sont seules remarquées et évaluées.

La comparaison des deux images rétiniennes, telle qu'elle se manifeste par la perception de la troisième dimension, est d'une exactitude extraordinaire, et les différences dont elle accuse la perception sont parfois tellement faibles qu'elles seraient imperceptibles dans la vision ordinaire, sans le secours d'instruments de précision. Déjà dans les photographies stéréoscopiques, les différences des deux images sont généralement assez faibles pour qu'il faille beaucoup de soin pour les découvrir ; on ne les distingue ordinairement que le long du contour des objets placés devant d'autres, dont ils cachent une partie un peu différente dans les deux images.

Dove (1) a cité les exemples suivants pour l'exactitude de la vision stéréoscopique.

Si l'on combine au stéréoscope deux médailles frappées au même coin, mais composées de métaux différents, l'image résultante paraît oblique et convexe, au lieu d'être plane. Cela tient à ce que les métaux, après le coup du balancier, se dilatent d'une quantité qui varie avec la nature de chacun d'eux. C'est pour cette raison que les médailles de différents métaux n'ont pas les mêmes dimensions, mais les différences sont excessivement faibles. J'ai vu de semblables médailles chez le professeur Dove, l'une d'argent, l'autre de bronze, dont la différence était imperceptible à l'œil nu, même lorsqu'on les superposait, et qui donnaient cependant une image nettement bombée.

Lorsqu'en typographie on compose deux fois la même phrase, il est impossible, à moins de précautions particulières, d'éviter une certaine inégalité dans les espacements des caractères. Il en résulte qu'en plaçant sous le stéréoscope les deux épreuves ainsi obtenues, on voit certains mots ou certaines lettres se placer en avant ou en arrière des autres.

---

(1) W. H. Dove, Optische Studien, Berlin, 1859, p. 26-36.

Les lettres ne paraissent être toutes dans le même plan que lorsque les deux exemplaires ont été imprimés avec la même composition ; et, dans ce cas, il peut encore arriver que le tout paraisse bombé ou oblique pour peu que l'ensemble du papier se soit distendu davantage dans l'une ou l'autre épreuve par suite d'une humectation ou d'une traction inégale ; cependant on ne voit généralement pas alors certaines lettres isolées avancer ou reculer par rapport au reste.

De même que ce procédé permet de distinguer deux éditions différentes d'un même texte, il fournit encore le moyen de reconnaître des billets de banque faux, car il est impossible au contrefacteur de faire les intervalles des lettres tellement égaux à ceux de l'original, qu'on ne voie pas quelques-unes d'entre elles avancer ou reculer quand on combine sous le stéréoscope un billet vrai avec un papier faux. D'ailleurs, sur deux exemplaires du même billet vrai, on voit généralement se placer dans des plans différents les parties qui ont été produites par des planches différentes, et l'on reconnaît facilement, à l'aide du stéréoscope, combien il a été employé de planches pour imprimer le billet. Cette méthode est également très-commode pour vérifier si les divisions d'une échelle graduée sont égales. Il suffit d'obtenir la fusion stéréoscopique de deux parties différentes de l'échelle. Si les divisions sont égales, les traits paraissent se trouver tous dans le même plan ; si elles ne le sont pas, quelques traits paraissent avancer ou reculer.

Voici un autre exemple de ces petits déplacements que l'on reconnaît facilement par la combinaison stéréoscopique et que j'ai remarqué par hasard. — Lorsqu'on regarde la tenture d'une chambre par-dessus la cheminée d'une lampe, de manière qu'un œil regarde librement, et l'autre, à travers le courant d'air chaud, on voit, en y portant quelque attention, un long pli rentrant et un pli saillant, comme si la tenture s'était détachée du mur. Si c'est l'œil droit qui regarde à travers la colonne d'air chaud, le pli saillant se présente à droite, le pli rentrant à gauche ; le contraire a lieu si c'est l'œil gauche. Le phénomène se produit avec le plus de netteté lorsque l'observateur se place à environ trois pieds du mur et que la lampe est au milieu de cette distance. Alors les deux plis saillants relatifs aux deux yeux se superposent, ce qui renforce l'effet. Ce phéno-

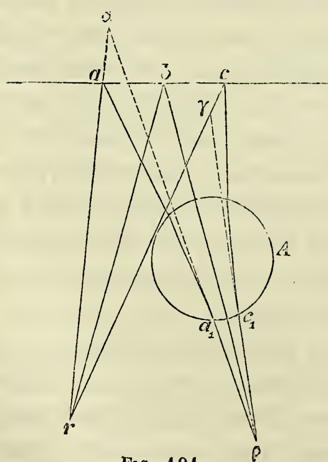


FIG. 191.

mène s'explique par la réfraction de la lumière dans le courant d'air chaud. Soient *A* (fig. 191) un cercle qui représente la section horizontale du courant d'air, *r* et ρ les deux yeux de l'observateur, *a*, *b*, *c* des points du mur; ces points se présentent à l'œil *r* sur les rayons rectilignes *ra*, *rb* et *rc*. Mais l'œil ρ reçoit les rayons suivant les directions $aa_1\rho$, $b\rho$ et $cc_1\rho$, à cause de la réfraction qui a lieu dans le courant d'air chaud *A*. Le rayon $b\rho$, qui passe par le milieu de ce courant, peut seul rester rectiligne. Ainsi, pour l'œil ρ, les points *c* et *a* paraissent se trouver sur le prolongement des rayons ρc_1 et ρa_1 et pour les deux yeux ensemble ils apparaissent en γ et en α, où ρc_1 et ρa_1 coupent respectivement *rc* et *ra*. La tenture paraît donc saillante du côté de l'œil qui regarde à travers l'air chaud ; elle paraît rentrante du côté opposé.

J'ai encore fait quelques expériences sur le degré d'exactitude que l'on peut atteindre dans la comparaison stéréoscopique des deux images rétiniennes.— A cet effet, j'ai planté verticalement trois épingles égales à l'extrémité de trois baguettes quadrangulaires ; je plaçais ces baguettes l'une à côté de l'autre, sur une table plane, de manière que les épingles se trouvassent à peu près dans le même plan et à environ 12 millimètres l'une de l'autre. Je me plaçais ensuite de manière à avoir les yeux dans le prolongement ou un peu au-dessous du plan supérieur des baguettes ; je voyais alors les épingles sans apercevoir les extrémités des règles dans lesquelles elles étaient plantées. Mes yeux étaient à 340^{mm} des épingles. Dans ces conditions, la comparaison des deux images rétiniennes fournissait seule le moyen de reconnaître si les épingles étaient ou non dans le même plan vertical. Si elles ne l'étaient pas, on pouvait, en déplaçant une des baguettes, les amener dans le même plan, autant que l'observateur pouvait en juger ; en amenant ensuite un œil dans ce plan et visant les épingles, on reconnaissait facilement le degré d'exactitude qu'on avait atteint dans la disposition des épingles. Il faut remarquer que les épingles ne doivent pas être trop éloignées l'une de l'autre, parce que le jugement subirait une illusion particulière dont il sera question dans le paragraphe suivant, au sujet de l'horoptère. Les distances indiquées plus haut conviennent pour le but proposé et suppriment l'effet de cette illusion. Dans ces conditions je ne me suis jamais trompé de la moitié de l'épaisseur d'une épingle, c'est-à-dire de 1/4 de millimètre, lorsque le plan des épingles était perpendiculaire à la ligne visuelle. La comparaison n'était plus aussi sûre lorsque ce plan était fortement incliné par rapport à la ligne visuelle. On reconnaissait avec une certitude complète le déplacement d'une épingle lorsqu'elle était en avant ou en arrière du plan des autres d'une quantité égale à sa propre épaisseur, c'est-à-dire de 1/2 millimètre. Supposant l'épingle

médiane située à 1/2 millimètre en avant du plan des autres, il est facile de calculer de combien l'image de cette épingle est placée différemment dans les deux yeux par rapport à celle des deux autres. La distance de mes yeux est de 68^{mm}. La position de l'épingle moyenne, projetée sur le plan des deux autres, aurait différé de $\frac{1}{2} \cdot \frac{68}{340} = \frac{1}{10}$ de millimètre dans les deux images rétiniennes. Une largeur de 1/10 de millimètre, vue à une distance de 340^{mm}, se trouve déjà sur la limite des plus petites distances visibles. Elle répond à un angle de $60'',5$ ou à une distance de $0^{mm},0044$ sur la rétine. Il s'ensuit donc que *la comparaison des images rétiniennes des deux yeux, pour la vision stéréoscopique, se fait avec la même exactitude que l'appréciation des plus petites distances dans un seul et même œil.*

D'après une remarque de Brewster, il peut encore se manifester, de cette manière, de très-petites différences provenant des différences de réfrangibilité des rayons chromatiques différents, lorsqu'on regarde, à travers une lentille convexe, un objet rouge et un objet bleu situés à la même distance de l'observateur : le rouge paraît plus près que le bleu.

La perceptibilité stéréoscopique de la troisième dimension décroît rapidement à mesure que les objets sont plus éloignés. — La loi de cette décroissance est de la même forme que celle des images des lentilles convexes. Soient r la distance du point le plus éloigné à l'œil, ρ celle du point le plus rapproché, f une constante dont dépend l'exactitude, on distingue la différence de la distance des points si

$$\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r} > \frac{1}{f}$$

D'après les mensurations qui précèdent, on peut poser $f \geqq 240^{m}$. Si r est la distance de l'œil à l'objet, ρ la distance de l'œil à l'image que donne de l'objet une lentille concave dont la distance focale négative soit égale à f, on a

$$\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r} = \frac{1}{f}$$

Par conséquent, si l'on regardait un objet quelconque à travers une lentille concave excessivement faible, de 240 mètres de distance focale négative, l'image se trouverait à la place du plus éloigné des objets que la vision stéréoscopique permettrait encore de reconnaître comme situé en arrière du premier. Les personnes auxquelles les positions des images de lentilles sont familières reconnaîtront facilement qu'à dis-

tance on ne distingue donc la troisième dimension que lorsqu'elle est très-grande, tandis qu'à proximité de très-petites différences de profondeur ne pourront pas échapper.

Dans cette formule, la quantité f désigne la plus grande distance à laquelle la vision stéréoscopique permette de distinguer un objet de ceux qui sont derrière lui à une distance infinie.

Une modification du stéréoscope, connue sous le nom de *pseudoscope*, fournit des renseignements très-intéressants sur l'énergie avec laquelle la comparaison stéréoscopique des images rétiniennes nous représente les différentes distances, comparativement aux autres éléments favorables à la perception du relief. — Cet instrument a pour but de modifier les images binoculaires d'objets réels, de manière à en renverser le relief stéréoscopique. Le *pseudoscope* de Wheatstone contient deux prismes rectangulaires de verre, dont les arêtes sont perpendiculaires au plan de visée, et à travers lesquels l'observateur regarde suivant une direction parallèle à leur hypothénuse. La marche des rayons dans un semblable prisme a été vue plus haut, page 618 et figure 159. Les objets situés sur le rayon non dévié, parallèle à l'hypothénuse d'un semblable prisme, se voient dans leur position réelle, tandis que la réflexion fait apparaître respectivement à droite et à gauche les objets situés à gauche et à droite. Comme chaque œil voit les objets ainsi symétriquement renversés par réflexion, la concordance entre les images des deux yeux est conservée. Les deux prismes sont renfermés dans de petits tubes de manière que leurs hypothénuses soient parallèles aux axes de ces tubes. Ceux-ci sont mobiles autour de leur propre axe et d'un axe perpendiculaire au plan de visée, ce qui permet d'amener les deux images à concorder.

En choisissant un exemple simple, il est facile de voir que cette disposition renverse le relief stéréoscopique. — Prenons pour objet un parallélipipède rectangle placé symétriquement par rapport au plan médian de la tête. Les deux yeux en verront la face antérieure ; l'œil droit voit, de plus, un peu la face de droite, et l'œil gauche, celle de gauche. Mais lorsqu'on regarde à travers le pseudoscope, l'image de la face de droite, qui est visible pour l'œil droit, paraît se trouver à gauche de la face antérieure. Inversement, l'œil gauche voit, en raccourci, une face située à droite de la face antérieure. Les choses ne peuvent pas se présenter ainsi pour une poutre, mais bien pour un tube quadrangulaire dont l'orifice ferait face à l'observateur. En présence d'un pareil tube, l'œil droit verrait, en effet, une image raccourcie de la face latérale gauche, l'œil gauche, une image de la face droite. Effectivement,

vu dans le pseudoscope, le parallépipède apparaît sous forme d'un tube creux. En général, les corps convexes y paraissent donc concaves, les objets rapprochés paraissent éloignés, et ainsi du reste.

L'illusion pseudoscopique ne réussit cependant que pour un petit nombre d'objets, parce que la connaissance des formes ordinaires des objets ou la présence des ombres portées viennent faire obstacle à sa production. J'ai déjà insisté plus haut sur ce point que les ombres portées donnent toujours des indications non équivoques sur certaines conditions géométriques. Le corps qui produit une ombre doit toujours se trouver en avant de la surface qui la reçoit. Si donc un corps quelconque repose sur un plan, il projette son ombre sur ce plan. Au pseudoscope, il devrait paraître situé derrière la surface, comme s'il y était enfoui. Mais alors l'ombre portée n'a plus de sens et nuit à la production de l'illusion. Il se produit un empêchement analogue lorsqu'une surface en recouvre partiellement une autre située plus loin. L'œil droit voit alors, à la droite de la surface antérieure, une partie plus grande de la surface postérieure que le gauche, ce qui cesse de présenter aucun sens lors du renversement pseudoscopique.

C'est pourquoi les objets que l'on veut voir pseudoscopiquement doivent être, en général, placés librement dans l'espace, en avant d'un mur d'une coloration uniforme et un peu éloigné, sur lequel ils ne puissent projeter aucune ombre sensible, et qui n'ait pas de parties remarquables pouvant servir elles-mêmes d'objet. Il faut éviter, de plus, qu'une partie de l'objet n'en recouvre perspectivement une autre. Les objets convenables sont, par exemple, des rouleaux de papier écrit ou imprimé qui font alors l'effet de tubes, des cigares, qui présentent l'aspect d'une feuille de tabac roulée en cylindre creux, des médailles éclairées de face et qu'on prend alors pour des empreintes creuses L'illusion me paraît très-vive lorsqu'on regarde au pseudoscope une éprouvette graduée de verre. Si les divisions sont du côté qui fait face à l'observateur, le pseudoscope les fait paraître gravées de l'autre côté du cylindre. Des fils verticaux situés à des distances différentes de l'observateur se prêtent également fort bien à l'illusion : les plus rapprochés paraissent alors les plus éloignés, et inversement.

Lorsque l'illusion trouve un obstacle dans la connaissance que nous avons de la forme véritable des objets ou dans la présence des ombres portées, on peut souvent encore réussir à la provoquer en se représentant vivement la forme que devrait faire voir le pseudoscope : une fois celle-ci obtenue, on peut la conserver sans peine. Inversement, il est possible de revenir à la forme véritable ; cependant, dans la contemplation de cette dernière, on éprouve toujours un certain malaise,

attribuable au renversement des différences des deux images rétiniennes.

Tandis que le *pseudoscope* renverse le relief des objets extérieurs, le *téléstéréoscope* l'exagère ; aussi cet instrument est-il particulièrement propre à faire ressortir le relief des objets qui, à cause de leur grande distance, ne donnent ordinairement pas d'effet stéréoscopique, ou ne le donnent que d'une manière très-imparfaite. — La distance qui sépare nos yeux n'est pas suffisante pour nous donner des images sensiblement différentes d'objets très-lointains ; il faut donc, pour obtenir des images suffisamment dissemblables de ces objets, exagérer artificiellement la distance des points de vue. C'est ce que le téléstéréoscope réalise, à

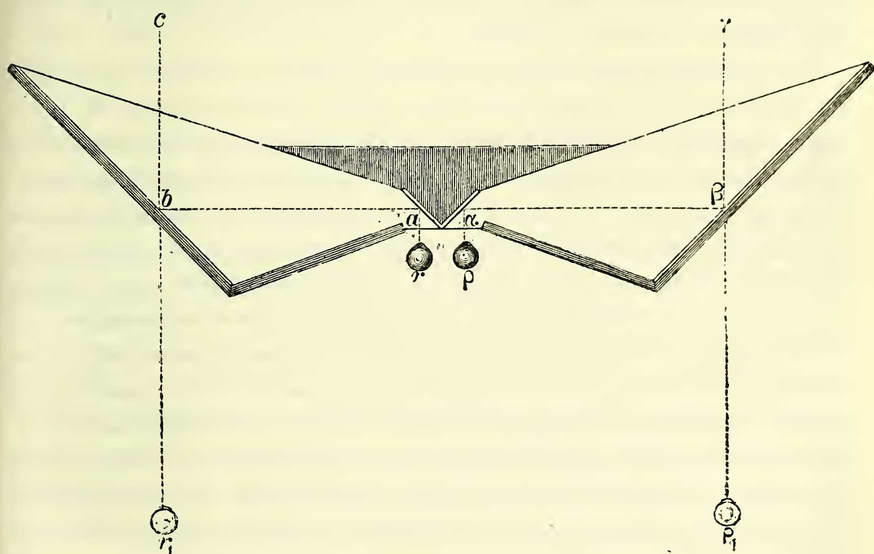


Fig. 192.

l'aide de quatre miroirs plans dont la coupe est représentée en a, b, α et β (fig. 192). Les yeux de l'observateur sont en r et en ρ. Les lignes $cbar$ et $\gamma\beta\alpha\rho$ indiquent la marche des rayons lumineux. Les quatre miroirs sont fixés dans une boîte, dont les parois sont représentées en coupe, de manière à pouvoir exécuter les petites rotations que peut exiger la fusion des images. Si les miroirs a et α se coupent à angle droit, ces miroirs étant fixés à la base de la boîte, il suffit que les miroirs b et β soient mobiles à l'aide de vis, l'un autour d'un axe horizontal et l'autre autour d'un axe vertical. Pour obtenir un champ visuel un peu étendu, il faut faire les miroirs b et β aussi grands que possible.

Soient r_1 et ρ_1 les positions des images réfléchies que les systèmes de miroirs a et b, α et β donnent respectivement des yeux r et ρ, l'œil r

voit, à l'aide des miroirs, le paysage comme le verrait, sans miroir, un œil placé en r_1 ; de même, l'œil ρ le voit comme s'il était en ρ_1. Mais les points r_1 et ρ_1 sont bien plus distants que ne le sont les yeux véritables r et ρ, les différences que présentent les deux images du paysage sont exagérées d'autant ; il en résulte que le relief stéréoscopique des objets éloignés, chaînes de montagnes, ou plis de terrain, apparaît d'une manière bien plus nette qu'à l'œil nu. Lorsque les miroirs sont disposés de manière que les objets infiniment éloignés se voient avec des lignes visuelles parallèles dans le téléstéréoscope, le paysage ne présente plus son aspect naturel ; l'observateur croit en voir un modèle en relief, d'une finesse d'exécution et d'une exactitude admirables, sur lequel les distances seraient diminuées dans la proportion $r_1 \rho_1 : r \rho$ (fig. 192).

Il se produit quelque chose d'analogue à l'effet du téléstéréoscope lors de l'examen de la plupart des photographies stéréoscopiques de paysages, parce qu'en général, en prenant la photographie, on a donné aux points de vue une distance bien plus grande que celle des deux yeux. — D'un autre côté, on peut également obtenir, à l'aide de la photographie, des images stéréoscopiques des corps célestes, et cela réussit parfaitement bien pour la lune : il suffit de combiner deux images obtenues sucessivement à des moments où les astres représentés sont tournés un peu différemment par rapport à la terre. Bien que la lune nous présente toujours le même côté, sa position offre cependant de petites variations qui permettent d'en obtenir des images stéréoscopiques en la photographiant, dans deux mois différents, à des moments où elle est éclairée de la même manière par le soleil. Ces photographies ne présentent pas seulement avec netteté la forme sphérique de notre satellite : elles donnent aussi quelques détails du relief de ses cratères.

Tandis que le téléstéréoscope augmente la parallaxe stéréoscopique et que le pseudoscope la fait changer de signe, l'*iconoscope* de Javal (1) a pour effet de la supprimer à peu près complétement. — Cet instrument se compose de quatre miroirs disposés comme ceux du télestéréoscope. Supposons la figure 192 (p. 821) construite à une échelle telle que les deux yeux de l'observateur puissent se placer en c et en γ, la parallaxe stéréoscopique des objets extérieurs sera diminuée à peu près dans le rapport $a\,\alpha : b\,\beta$; aussi ces objets présentent-ils l'aspect d'une peinture plane, à un degré plus marqué encore que lors de la vision monoculaire.

(1) Sur un instrument nommé iconoscope, destiné à donner du relief aux images planes examinées avec les deux yeux, in *Comptes rendus*, 1866, LXIII, 927.

Inversement, si l'on vient à regarder un dessin ou une photographie, le relief se manifeste plus vivement que sans le secours de l'instrument. En effet, lors de la contemplation binoculaire d'un dessin, les mouvements que les yeux exécutent nous apprennent que tout est sur un même plan, et ce renseignement vient entraver l'action des éléments accessoires favorables à la perception du relief, tels que les ombres, etc., tandis qu'ici, aucune perception sensuelle ne venant contrarier la représentation que nous sommes disposés à nous faire de l'objet, le relief produit est à peu près le même que pour la vision monoculaire.

Les personnes qui possèdent l'ophthalmoscope binoculaire de Giraud-Teulon (voy. p. 684) pourront facilement obtenir un iconoscope, d'un champ très-faible il est vrai, en supprimant le miroir de cet instrument.

Si tous les autres moyens d'évaluation venaient à manquer, le sentiment du degré de convergence qu'affectent nos lignes de regard pendant la contemplation binoculaire d'un objet pourrait encore nous renseigner sur la *distance absolue* de cet objet. Cependant, ce sentiment ne présente qu'un faible degré de certitude et, sous ce rapport, nous pouvons être exposés à des illusions assez considérables.

L'expérience suivante, indiquée par Wheatstone, peut servir à démontrer que, tant qu'aucune autre circonstance ne s'y oppose, la convergence des lignes de regard nous sert à apprécier la distance absolue des objets, et, par conséquent, leur grandeur. — Ce physicien avait fait disposer son stéréoscope à réflexion de telle façon que, d'une part, les deux images pussent être rapprochées ou éloignées des miroirs, les planchettes qui reçoivent les images étant mobiles, à cet effet, dans des rainures ; et, d'autre part, les deux branches du stéréoscope avaient été rendues mobiles autour d'un axe fixe, situé entre les miroirs. Lorsqu'on rapproche les deux images des miroirs, les deux images rétiniennes grandissent sans modification de la convergence : la grandeur apparente de l'objet augmente alors sans qu'il y ait variation de sa distance apparente. Si, au contraire, on ne déplace pas les images sur les branches de l'instrument, mais on fait tourner les miroirs autour de la charnière qui les réunit, la convergence varie et la grandeur de l'image rétinienne reste invariable : alors la grandeur et la distance apparentes de l'objet diminuent lorsque la convergence augmente.

On peut observer une diminution et un grossissement analogues des objets sur toute paire de dessins stéréoscopiques que l'on fusionne, soit sans verres, soit dans un stéréoscope à lentilles ; il suffit de rap-

procher ou d'écarter les dessins. H. Meyer (1) a indiqué un appareil pour faire les mensurations relatives à cette expérience.

Wundt a fait des expériences directes sur l'appréciation de la distance d'après le degré de convergence. — Il avait pris pour objet un fil noir vertical qui se détachait sur un fond blanc uniforme un peu éloigné; il regardait des deux yeux à travers une fente horizontale un peu allongée en forme de tube du côté du fil, de manière qu'on ne voyait que la partie moyenne du fil et non ses extrémités; ce tube empêchait de voir aucune partie des objets environnants qui eût pu servir à donner une idée de la distance. Le fil était mobile le long d'un fil métallique horizontal, tendu dans le plan médian de l'observateur, et auquel il était supendu. Wundt chercha d'abord à apprécier la distance absolue et à la comparer avec la longueur d'une règle divisée tenue à la main. Les résultats obtenus furent, en centimètres.

Distance véritable.	Évaluation.
180	120
160	92
140	78
120	58
100	48
90	47
80	47
70	37
50	22
40	25

A chaque fois, l'évaluation était inférieure à la distance réelle. J'ai exécuté une série d'expériences analogues par un procédé peu différent et j'ai obtenu un résultat opposé. Je tenais tout à fait contre ma figure, et dans le plan médian, une feuille de papier fort et je regardais un fil suspendu verticalement. Le papier cachait pour l'œil droit tout ce qui se trouvait dans le voisinage du fil, vers la gauche, et pour l'œil gauche, ce qui était près de la droite du fil. Lorsque, partant du côté droit, je rapprochais du fil un crayon, je ne le voyais qu'avec l'œil droit. J'essayais alors de toucher le fil en approchant vivement le crayon : à tous les coups je passais derrière le fil. L'erreur était faible si, pour faire l'expérience de la manière indiquée, je n'attendais que quelques instants après m'être mis en position et avoir ouvert les yeux. Si j'attendais plus longtemps sans cesser de fixer le fil, l'erreur devenait de plus en plus forte, probablement par suite de fatigue croissante des muscles droits internes.

La perception des changements de distance était bien plus exacte

(1) *Pogg. Ann.*, LXXXV, p. 198-207.

lorsque, dans les expériences de Wundt, on faisait varier la distance du fil. Voici, en centimètres, quelles furent alors les plus petites différences perceptibles.

DISTANCE DU FIL A L'ŒIL.	LIMITES DE L'APPRÉCIATION	
	EN RAPPROCHANT.	EN ÉLOIGNANT.
180	3,5	5
170	3	4
160	3	3
150	3	3
130	2	3
110	2	2
80	2	2
70	1,5	1,5
50	1	1

Pour une distance de $1^m,80$, chaque œil est tourné en dedans de $1°1'$ et un rapprochement de $3^c,5$ du fil répond à un déplacement de $72''$ pour chaque image rétinienne. Cette valeur se trouve déjà à la limite de ce que l'œil peut distinguer. On ne peut remarquer que des déplacements angulaires bien plus considérables, lorsque le fil est plus rapproché; pour une distance de $0^m,50$ le déplacement est de 263 secondes.

Du reste, on peut encore se demander si, dans ces expériences, les deux yeux ont suivi le fil, l'image restant immobile sur la rétine, ou si les yeux ont été maintenus fixes tandis qu'on remarquait le déplacement de l'image rétinienne. On pourrait, dans la dernière hypothèse, expliquer la diminution de l'exactitude pour des convergences plus fortes, en remarquant qu'il est plus difficile de maintenir le globe oculaire en position pour la convergence forcée que pour le parallélisme, qui n'exige aucun effort.

L'imperfection avec laquelle nous apprécions la distance du point de fixation se manifeste aussi lorsqu'ayant les yeux fermés nous tenons un crayon à une certaine distance du visage et que nous cherchons à amener les yeux dans une position telle qu'il ne nous faille faire aucun mouvement pour le fixer au moment où nous ouvrons les yeux. Le plus souvent il se trouve que la convergence est insuffisante, et le crayon paraît double. Cependant, comme je l'ai déjà fait remarquer plus haut, on réussit bien mieux à réaliser la position correcte lorsqu'on tâte et qu'on frotte la pointe du crayon avec le bout du doigt. On obtient ainsi une représentation sensuelle plus nette de sa position et je réussis ordinairement alors à diriger les yeux de manière à ne pas voir d'images doubles en les ouvrant.

L'incertitude avec laquelle nous apprécions le degré absolu de la convergence et, par déduction, la distance absolue de l'objet fixé, se fait sentir dans un grand nombre de cas. Si, par exemple, on tient à la main une feuille de papier sur laquelle sont dessinées des images stéréoscopiques que l'on fusionne, l'image résultante paraît, en général, située dans le plan du papier dont nous connaissons la position, ou même un peu en avant de ce plan, bien que les lignes de regard, dirigées parallèlement ou à peu près, ne se coupent qu'à une très-grande distance en arrière du papier et que cette intersection dût être la position apparente de l'objet vu stéréoscopiquement. De même, on ne réussit pas, en général, à se former une notion corporelle par combinaison d'images accidentelles négatives d'un objet éclairé ; ces images paraissent projetées, à chaque instant, sur la surface de l'objet réel sur lequel on dirige les yeux. Cependant on parvient parfois à reconnaître les images accidentelles avec trois dimensions et avec une position indépendante dans l'espace, lorsque ces images sont très-nettes et très-prononcées, et que la surface réelle située devant nos regards ne présente pas de particularité remarquable.

De même, lorsque l'on combine des dessins au stéréoscope, où l'on ne voit pas d'autre objet avec lequel on puisse comparer la distance de l'image en relief obtenue, on est assez incertain sur la distance absolue ; et si l'on cherche à désigner avec la main, en dehors de la boîte, la position de l'objet apparent, on commet des erreurs analogues à celles que Wundt a trouvées en appréciant la distance de son fil vu binoculairement. Si l'on regarde alternativement à travers l'instrument et au-dessus, on peut facilement comparer la position de la main avec celle de l'image stéréoscopique et évaluer ainsi l'erreur qu'on avait commise. Ici encore je trouve, comme Wundt, que je suis le plus souvent disposé à considérer l'image comme plus rapprochée qu'elle n'est. Au lieu de prendre pour point de comparaison la position de la main, sans y porter le regard, il est bien plus exact de recourir à des objets vus monoculairement à droite et à gauche du stéréoscope. Le plus souvent, les boîtes des stéréoscopes de Brewster ne sont pas tellement larges qu'il soit impossible de voir avec l'œil droit des objets réels situés à droite, avec l'œil gauche, des objets situés à gauche, et dont on connaît la distance et les dimensions. Bien que ces objets soient vus monoculairement et que la distance de l'image stéréoscopique ne se détermine que par la vision binoculaire, on fait le plus souvent des déterminations assez exactes pour qu'il n'y ait pas grand'chose à y changer lorsque l'on compare ensuite l'image stéréoscopique avec des objets réels vus binoculairement, soit au-dessus, soit au-dessous de l'instrument.

Ce dernier procédé montre que l'appréciation de la distance d'après la convergence des lignes visuelles donne d'assez bons résultats lorsqu'elle se fait sous des conditions favorables et qu'elle n'est pas dérangée par des circonstances accessoires, mais cet élément d'appréciation est de ceux qui se laissent facilement surmonter par d'autres éléments contradictoires, comme dans l'exemple cité plus haut, où des images se projettent sur une surface dont la distance est connue.

Les *images des tentures* (1) font ressortir également, d'une manière non douteuse, l'influence de la convergence.— Lorsqu'on regarde, avec des lignes de regard convergentes, une tenture dont le dessin se répète régulièrement, on réussit, pour des degrés de convergence croissants, à faire coïncider des parties correspondantes du dessin de plus en plus éloignées. On voit alors une image diminuée de la tenture, image qui paraît planer dans l'air, que l'observateur croit voir d'autant plus rapprochée et plus petite que la convergence est plus grande et que, par suite, les parties fusionnées sont plus éloignées l'une de l'autre sur le mur.

Inversement, il est possible de fusionner des images stéréoscopiques dont les points correspondants sont plus éloignés que les centres des yeux, ce qui exige une direction divergente des lignes de regard. Les observateurs peu exercés à faire diverger leurs yeux obtiennent le plus facilement ce résultat en mettant dans un stéréoscope ordinaire deux épreuves conjuguées et les écartant peu à peu en cherchant toujours à les voir réunies. On peut encore, comme l'ont fait Rollet (2) et Becker, dessiner les unes au-dessous des autres, sur un papier, une série de figures stéréoscopiques conjuguées deux à deux, mais de plus en plus écartées. Les observateurs que nous venons de citer ont donné une série de figures dont chacune représente un cercle en avant duquel se trouve un second cercle plus petit. Les centres des petits cercles de chaque couple présentent la même distance que ceux des grands cercles du couple précédent. Par conséquent, lorsqu'on fait coïncider ces derniers, les petits cercles du couple suivant coïncident d'eux-mêmes; on arrrive ainsi, de proche en proche, à fusionner les petits cercles et les grands cercles des couples successifs. En partant de petits cercles dont les centres sont écartés de 44^{mm}, on arrive ainsi à de grands cercles distants de 93^{mm}, et je puis fusionner ces derniers à 30^{c} de mes yeux, lesquels présentent un écartement de 68^{mm}.

(1) H. Meyer, in *Roser und Wunderlich's Archiv,* 1842, I. — D. Brewster, in *Phil. Mag.*, XXX, 305.

(2) *Wiener Sitzungsberichte*, 10 Mai 1861, XLIII. — Burkchardt a déjà mentionné la possibilité de la fusion pour une position divergente des lignes visuelles, in *Verhandl. d. naturforsch. Ges. zu Basel*, I, 145.

Dans les cas de ce genre, les lignes de regard cessent de se couper en un point de l'espace situé devant nous ; elles se rencontrent derrière notre tête, et cependant nous croyons avoir devant nous une image stéréoscopique tout aussi bien que lorsque la distance des images est convenable. C'est tout au plus si la sensation d'un effort insolite peut nous avertir que nos yeux occupent une position inaccoutumée. Et lorsque nous comparons une image stéréoscopique, observée lors de la divergence des lignes visuelles, avec des objets réels très-éloignés, visibles au-dessus du stéréoscope, tels qu'une chaîne de montagnes éloignée, l'image stéréoscopique nous paraît bien plus éloignée que les objets réels les plus lointains (1).

Lorsque nous regardons des objets réels éloignés à travers deux prismes dont les angles réfringents soient d'environ 4°, ces angles étant tournés en dehors, la fusion exige la divergence des lignes visuelles, et si les objets nous paraissent peut-être un peu plus éloignés qu'à l'œil nu, en somme, la différence n'est pas grande. L'infini ne se présente pas, dans nos conceptions visuelles, comme une limite infranchissable. Lorsque la convergence des lignes visuelles diminue, cela nous indique que la distance de l'objet augmente, et nous continuons à juger d'après ce signe lorsque la convergence diminue jusqu'à atteindre des valeurs négatives, bien qu'aucun point réel situé devant nous dans l'espace ne réponde plus à une semblable position des yeux. Quand nous sentirions, avec plus ou moins de certitude, que nos yeux occupent une position qui ne s'est jamais présentée dans l'observation normale des objets réels, tout ce que nous pouvons faire, en nous conformant à la règle que nous suivons ordinairement pour l'interprétation des sensations anormales, c'est de comparer la sensation produite avec celle qui lui ressemble le plus et qui ne s'en distingue que par une convergence plus faible, c'est-à-dire avec celle que nous donnent des objets réels très-éloignés.

L'imperfection avec laquelle nous jugeons le degré de convergence peut aussi provoquer des illusions dans l'appréciation des formes vues avec les deux yeux, en nous laissant attribuer aux phénomènes visuels une interprétation qui conviendrait à une autre convergence, mais qui n'est pas exacte pour la convergence actuelle. — Cette circonstance se présente surtout d'une manière remarquable en présence d'objets dont les images rétiniennes auraient une signification également claire pour

(1) Voyez, à ce sujet, une discussion à laquelle prirent part Ruete, Nagel, Javal et Donders, au congrès ophthalmologique de Heidelberg de 1864, in *Klin. Monatsbl. f. Augenheilk.*, II, 387-392. — *Ann. d'ocul.*, 1865, LIV, 93-96.

différents degrés de convergence. Qu'on plante, par exemple, dans une poutre horizontale située transversalement en avant de notre œil et à une certaine hauteur, trois clous séparés de quelques pouces les uns des autres ; qu'on suspende à ces clous, avec des coulants lâches, trois fils de soie fins tendus par de légers poids. Disposant d'abord les fils de manière qu'ils soient tous les trois dans un même plan, on s'assied en face d'eux, à portée du bras, de manière que le fil moyen se trouve dans le plan médian du visage et que le plan des fils soit perpendiculaire à ce plan médian. A quelque distance en arrière des fils doit se trouver un fond uniformément coloré, sans points particulièrement marqués. Si l'on examine attentivement les fils pour voir s'ils paraissent réellement se trouver dans un même plan, on constate alors que le fil moyen paraît se trouver un peu en avant du plan des deux autres, et cela d'autant plus que le visage est plus rapproché des fils. Reculant un peu le fil moyen de manière que les fils se trouvent sur une surface cylindrique qui présente sa concavité à l'observateur, on se met de nouveau en observation. Si l'on regarde alors d'un peu loin, les fils paraissent former une surface qui présente sa concavité à l'observateur ; si l'on se rapproche davantage, la surface devient plane ; enfin, si l'on se rapproche davantage encore, le fil moyen, bien que situé en arrière du plan des autres, paraît se placer en avant de ce plan. La distance pour laquelle les fils paraissent former un plan varie beaucoup d'un observateur à l'autre. M. E. Hering, qui a perfectionné, par l'emploi de fils, cette expérience que j'avais déjà faite de la manière indiquée, mais en me servant d'épingles, trouve qu'il lui faut s'éloigner d'une distance égale au diamètre du cylindre circulaire droit qui comprend les fils, pour les voir former un plan, et il rattache cette expérience à sa théorie de l'horoptère, dont il sera question plus loin. Quant à moi, lorsque je suis à la distance indiquée par Hering, la surface des fils me paraît nettement concave ; il en est de même de MM. les docteurs Berthold, Bernstein et Dastich, qui ont répété ces expériences dans mon laboratoire. MM. Berthold et Dastich devaient se rapprocher jusqu'à la moitié de ce diamètre, et il me fallait me rapprocher davantage encore, à environ 3/10, avant de voir les fils dans un plan ; après moi, c'était M. Bernstein qui était obligé de se rapprocher le plus. Lorsqu'on faisait varier, soit l'écartement des fils, soit la distance du fil moyen au plan des deux autres, la proportion restait à peu près la même pour chacun de nous : c'est ainsi que M. Berthold voyait toujours les fils à peu près dans un plan, lorsque la racine du nez se trouvait aux environs de l'axe du cylindre mené par les fils ; de même, il me fallait toujours m'avancer jusqu'à près du milieu du rayon ou du quart du diamètre.

Dans ces expériences, il se manifesta une influence de la fatigue des yeux : tout d'abord, lorsque les yeux passent du parallélisme à la convergence nécessitée par la contemplation des fils, l'erreur commise dans l'appréciation de leur position est relativement plus faible, et l'on est porté à se rapprocher davantage pour les voir dans un plan ; mais lorsqu'on maintient la convergence pendant quelque temps, le fil moyen paraît avancer un peu, et il faut se reculer légèrement de nouveau.

Voici, en millimètres, les résultats de quelques expériences que j'ai faites avec une convergence prolongée :

DISTANCE ENTRE LES DEUX FILS EXTRÊMES.	DISTANCE DU FIL MOYEN AU PLAN DES DEUX AUTRES.	DIAMÈTRE DU CYLINDRE.	DISTANCE A LAQUELLE JE VOYAIS LES FILS DANS UN PLAN.	DISTANCE EXPRIMÉE EN FRACTIONS DU DIAMÈTRE.
256	10,5	1571	450	0,286
256	6	2737	730	0,267
117	4,2	819	237	0,289
117	8,1	429	129	0,301
120	2	1802	550	0,305

L'illusion dont nous venons de nous occuper s'explique par le fait indiqué plus haut et d'après lequel, lorsque nous ne jugeons la distance que d'après la convergence des lignes visuelles, nous nous trompons ordinairement en moins dans l'évaluation de sa grandeur, et nous l'appréciions, en général, avec incertitude.

Si nous regardons maintenant un plan vertical couvert de lignes verticales équidistantes, les bandes situées à droite se présentent sous un angle visuel plus grand à l'œil droit qu'à l'œil gauche, d'abord parce qu'elles sont plus rapprochées de cet œil, et, en second lieu, parce que sa ligne visuelle rencontre les lignes sous un angle plus obtus que celle de l'œil gauche. Inversement, les bandes situées à gauche paraissent plus larges à l'œil gauche qu'à l'œil droit. Plus les yeux se rapprochent de ce plan, plus les angles visuels sont différents pour une même bande. Par conséquent, pour reconnaître si les différences de ce genre appartiennent à la projection d'une surface plane ou à celle d'une surface courbe, il faudrait pouvoir évaluer très-exactement la distance de l'objet, d'après la convergence des lignes visuelles. En effet, un objet éloigné et convexe, ou un objet plus voisin, mais concave, pourraient présenter les mêmes différences dans les deux images. Si, dans ces expériences, nous interprétons l'image binoculaire comme appartenant à un objet plus éloigné, je crois que cela ne tient pas uniquement à ce que, dans des conditions analogues, nous attribuons le plus souvent à l'objet

une distance trop grande, ainsi qu'on l'a vu dans l'expérience où l'on cherchait à atteindre, avec le crayon vu d'un œil, le fil vu binoculairement ; en effet, dans les expériences qui nous occupent, l'erreur sur la distance est bien plus grande que celle qui concorderait avec les résultats de l'expérience du fil et du crayon. Ainsi, dans la première et la troisième des observations indiquées à la page précédente, cette explication demanderait des distances respectivement de 627 et de 350^{mm} au lieu de 450 et de 237. Je n'ai jamais observé d'erreurs aussi considérables. Il me semble, au contraire, que ce qui nous fait faire ici une fausse interprétation, c'est l'absence d'une autre circonstance qui vient ordinairement au secours de notre jugement. En effet, lorsque nous n'avons pas simplement devant les yeux des lignes ayant la même disposition que les fils de l'expérience qui nous occupent, mais des lignes qui présentent des points de repère nettement visibles, ou lorsque nous regardons des objets qui présentent également des limites horizontales, celles, parmi les longueurs verticales, qui sont plus voisines de l'œil droit, nous y apparaissent sous un angle visuel plus grand qu'à l'œil gauche, et inversement.

L'influence des différences que présentent les dimensions verticales dans les deux yeux se montre d'une manière évidente dans la comparaison des images stéréoscopiques *A* et *B* (pl. VI). Le couple d'images *A* représente les deux projections d'un plan disposé en damier et voisin des yeux : la figure résultante paraît plane. Le couple *B* représente les deux projections d'une surface cylindrique très-éloignée, également disposée en damier, et l'aspect est en effet celui d'un pareil cylindre. Or les distances relatives des lignes verticales sont absolument les mêmes dans les deux couples de dessins. Si donc la courbure apparente dépendait seulement de la position relative des lignes verticales, comme on l'a presque toujours admis jusqu'à présent (1), les deux dessins devraient représenter absolument la même surface courbe. Mais la position relative des lignes verticales répond tout aussi bien à un damier plan et voisin qu'à un damier convexe et éloigné, et le tracé des lignes transversales détermine seul le choix de l'une ou de l'autre interprétation. Inversement, sur la figure *C* de la planche VI, les distances horizontales des lignes verticales sont partout égales ; les lignes limitantes, au contraire, sont courbes et plus écartées au bord externe des figures qu'au bord interne, comme cela aurait lieu pour les images d'une surface concave voisine. Aussi la combinaison des deux dessins donne-t-elle effectivement l'image binoculaire d'une surface concave,

(1) E. HERING, en particulier, en a fait la loi fondamentale de la vision binoculaire.

malgré le parallélisme des lignes de regard, qui est en désaccord avec la vision d'un objet rapproché. Si nous voulons, ici encore, ne fonder notre jugement que sur les différences dans les distances horizontales, ces différences faisant complétement défaut, *C* devrait présenter l'aspect d'un damier plan. L'inexactitude de la convergence gêne aussi peu ici que dans l'observation du dessin *A* (pl. VI), où nous jugeons que nous avons devant nous une surface plane voisine, bien que la convergence correspondante fasse défaut. Notre interprétation discerne la ressemblance des images *A* avec celles d'un plan rapproché, encore que nous sentions que la convergence ne s'accorde pas avec ce résultat.

Si l'on choisit les images de manière qu'il ne puisse se produire, dans les deux yeux, aucune différence le long des directions verticales, si l'on regarde, par exemple, comme dans l'expérience dont il est question plus haut, trois fils verticaux tout à fait uniformes et ne présentant aucun point remarquable, une partie des signes qui contribuent ordinairement à reconnaître la proximité des images viennent à manquer. Les différences que présentent les distances horizontales des fils, dans les deux images rétiniennes, ne sont pas accompagnées des différences verticales correspondantes qui les accompagnent ordinairement, ou au moins ces dernières ne sont pas perceptibles, et comme nous n'avons pas grand fonds à faire sur l'évaluation de l'éloignement d'après la convergence, nous apprécions les trois fils comme un objet qui est un peu plus éloigné qu'ils ne sont en réalité; les différences qui se présentent dans les dimensions horizontales ne peuvent plus s'expliquer alors qu'en admettant une convexité tournée vers l'observateur.

Comme la certitude avec laquelle la convergence peut servir à estimer la distance varie beaucoup d'une personne à l'autre, on comprend que l'illusion des trois fils verticaux doive présenter des degrés très-différents pour des observateurs différents. C'est chez M. E. Hering que cette illusion a présenté la valeur la plus grande, et il semble que, chez cet observateur, l'appréciation des distances d'après la convergence des lignes visuelles se fasse d'une manière particulièrement imparfaite, puisque ses propres observations le disposent à nier absolument la possibilité d'une pareille appréciation.

Pour vérifier l'explication que je viens de donner, j'ai enfilé sur les trois fils noirs des petites perles d'or, que j'ai fixées à environ 4 centimètres d'intervalle. Ces perles formaient, sur les fils, des points de repère qui apparaissaient nettement même dans la vision indirecte. L'illusion en question disparut aussitôt presque entièrement. Tandis que j'étais obligé de reculer de $10^{mm},5$ le fil moyen, pour voir dans un plan trois fils tout à fait noirs dont les extrêmes étaient distants de

256mm et que je regardais à 450mm de distance, je n'avais à le reculer que de 2mm après l'addition des perles. Lorsque les fils extrêmes étaient distants de 120mm, le fil moyen étant reculé de 2mm, il suffisait, en présence des perles, de m'éloigner de 230mm au lieu de 550.

Lorsqu'on approche des trois fils noirs un objet quelconque, qui présente un nombre suffisant de points remarquables, la courbure de la surface dans laquelle se trouvent les fils se manifeste aussitôt, alors même que l'objet en question ne présente aucune ligne droite qui puisse faciliter la comparaison. A cet effet, j'ai pris, par exemple, le manche d'un coupe-papier sculpté en forme d'*S*, et lors même que j'en tournais vers les fils le bord le plus fortement recourbé, sa présence suffisait pour faire disparaître à peu près complétement l'illusion.

Comme il est très-difficile, sans le secours d'appareils, d'amener une coïncidence suffisamment exacte entre les lignes verticales, dans les images stéréoscopiques, j'ai encore fait, de la manière suivante, des expériences sur l'influence de la convergence. Deux prismes rectangulaires sont fixés invariablement l'un à l'autre, de manière que leurs sections perpendiculaires aux arêtes présentent la disposition des triangles rectangles de la figure 193 : les arêtes étant parallèles entre

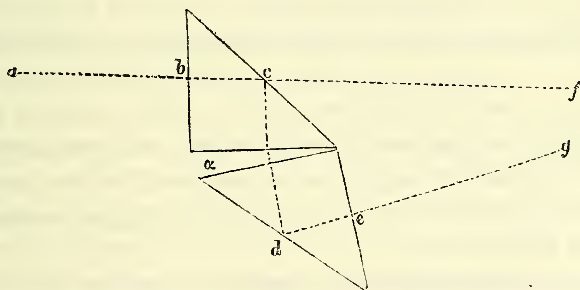


FIG. 193.

elles, deux de leurs surfaces comprennent un petit angle α. Le rayon *af*, qui tombe en *b* suivant une direction à peu près perpendiculaire à l'une des faces latérales de l'un de ces prismes, se réfléchit deux fois, en *c* et en *d*, comme on le voit sur la figure, et il émerge finalement de la seconde surface suivant la direction *eg*, qui forme avec la direction primitive un angle double de α (1). Si l'on regarde, de la manière indiquée,

(1) On n'a pas à craindre ici de déformation de l'image par suite de la réfraction, comme cela a lieu dans les prismes à angle aigu, ce qui pourrait induire en erreur dans les expériences stéréoscopiques ; en effet, les modifications qui se produisent ici sont du même genre que celles qui se manifestent lorsqu'on regarde perpendiculairement à travers une lame de verre épaisse, à faces planes et parallèles ; elles sont infiniment petites au milieu de l'image et symétriques de part et d'autre, de sorte qu'elles ne peuvent pas gêner dans les expériences qui nous occupent.

à travers un double prisme ainsi constitué, les arêtes étant verticales, on voit exactement la même image rétinienne qu'à l'œil nu, mais pour pouvoir l'apercevoir, il faut tourner l'œil un peu plus à droite ou à gauche qu'il ne le faudrait sans prisme.

Si l'on met un prisme de ce genre devant l'un des yeux pour regarder trois fils verticaux situés dans un même plan, et dont celui du milieu, vu binoculairement sans prisme, paraît, par conséquent, s'avancer un peu en avant des deux autres, il faut faire converger ou diverger davantage les yeux, suivant que c'est la face *b* ou la face *e* du prisme qui est tournée vers les fils ; mais on voit exactement les mêmes images rétiniennes. Dans le cas où l'on augmente ainsi la divergence, le fil moyen paraît s'avancer encore plus qu'auparavant ; si c'est la convergence qu'on augmente, ce fil paraît rentrer dans le plan des deux autres ou même passer en arrière de ce plan. Comme la juxtaposition des prismes a une certaine action téléstéréoscopique, si l'on met devant l'œil droit la face *e* pour la convergence, il faut mettre devant le même œil la face *b* pour la divergence ; on peut encore amener successivement les deux surfaces devant l'œil gauche. En agissant ainsi, l'action téléstéréoscopique du petit appareil reste la même dans les deux premières expériences où la distance des points de vue est augmentée par les prismes ; de même, dans les deux dernières, où cette distance est diminuée.

Il résulte de cette expérience que les mêmes images rétiniennes peuvent donner la représentation d'un objet, soit concave, soit plan, soit convexe, suivant le degré de convergence des yeux ; on voit donc que la convergence exerce une influence incontestable dans l'observation d'objets de ce genre.

D'un autre côté, regardons, à travers le système de prismes, une surface plane recouverte de figures ou de caractères nettement visibles et dont, par suite, les images rétiniennes ne peuvent répondre à un objet véritable que pour un certain degré de convergence déterminé : cette surface ne cesse pas de paraître plane lorsque la convergence augmente ou diminue. Dans un pareil cas, les images rétiniennes ne peuvent appartenir qu'à un objet déterminé et la notion de cet objet se produit alors même que la convergence n'est pas convenable. Il en est de même pour les fils munis de perles : pour eux aussi, l'effet de l'augmentation de convergence ou de divergence est très-insignifiant et l'on ne remarque principalement que l'effet téléstéréoscopique dû à l'augmentation apparente de la distance des points de vue.

L'effet des prismes ordinaires à faible angle réfringent est tout autre. — Si l'on regarde, avec la déviation du minimum, à travers le milieu

d'un semblable prisme, en tournant l'arête réfringente vers le nez, tous les objets paraissent déviés en dedans et leur observation exige une augmentation de convergence. Mais, en même temps, toutes les lignes verticales paraissent concaves vers le côté nasal, les parties de l'image situées en dehors paraissent trop étroites, celles qui sont internes paraissent trop larges, les lignes horizontales paraissent diverger vers le côté nasal. Il s'ensuit que, lorsque l'œil droit regarde à travers un semblable prisme, les objets vus avec les deux yeux paraissent plus rapprochés, et de telle façon que leurs lignes droites horizontales, aussi bien que les verticales, paraissent présenter une concavité dirigée vers l'observateur. L'augmentation apparente des distances verticales, au côté interne, compense en tout ou en partie les différences de la projection naturelle, d'après lesquelles les parties de l'objet situées au delà du plan médian paraissent trop petites. L'objet apparaît à peu près à la même distance qu'auparavant ou bien même un peu plus grand et plus éloigné, malgré l'augmentation de la convergence. Dans ces conditions, on ne peut attribuer qu'à une concavité de l'image l'élargissement de ses parties internes et le rétrécissement de ses parties externes. La courbure des lignes verticales en produit la concavité apparente.

Si l'on place l'arête réfringente du prisme en dehors, les objets plans paraissent, au contraire, convexes vers l'observateur.

Les phénomènes que nous venons de voir accompagner les variations de la convergence des yeux lors de la contemplation binoculaire des objets présentent une grande importance relativement à la possibilité de produire, par la sculpture, par exemple, des *images en relief* des objets, images qui, en reproduisant approximativement les différences des images rétiniennes que donnerait l'objet original, peuvent, lorsqu'on les voit à une distance plus petite que l'objet et qu'elles présentent une diminution de la troisième dimension, produire néanmoins la même impression que l'objet même, quant à la forme, aux dimensions et aux ombres, et cela non-seulement pour la vision monoculaire, mais même pour la vision binoculaire. C'est précisément à cause de la reproduction correcte des différences des deux images rétiniennes, qu'un bas-relief, vu d'un point convenable, fournit une imitation bien plus complète, du moins quant à la forme de l'objet, que ne peut jamais faire l'image plane la plus parfaite. A cette catégorie appartiennent non-seulement les hauts-reliefs et les bas-reliefs sculptés, qui représentent des têtes, des personnages et des groupes, mais encore les décors de théâtre, représentant des paysages ou des appartements, ou bien en-

core les portails d'églises, qui figurent des colonnades raccourcies en perspective, etc.

On peut déduire d'une simple expérience stéréoscopique les lois de la construction des reliefs, qui ont été trouvées empiriquement par les artistes (1). — Commençons par fusionner deux dessins stéréoscopiques conjugués, en les tenant dans une position telle que, pour un degré de convergence convenable, ils présentent exactement le même aspect que l'original lui-même. Rapprochons-les ensuite l'un de l'autre, tout en les laissant dans le même plan. La convergence des lignes visuelles augmente alors sans que les images rétiniennes des deux dessins subissent de modifications notables, et, si l'on fait abstraction de la conscience de l'augmentation de convergence, l'impression sensuelle reste à peu près inaltérée. Figurons-nous, maintenant, qu'on ait construit l'objet qui répondrait à ces dessins dans leur nouvelle position : ce nouvel objet est un *relief* de l'objet réel. Dans ce relief, il faut distinguer : un *plan principal* (*plan du fond*) dans lequel viennent se placer tous les points de l'original qui sont à une distance infinie, un *plan de congruence*, parallèle au précédent, et qui contient tous les points qui coïncident avec leur propre image. Si le relief doit représenter l'original en grandeur naturelle, la surface de congruence doit passer par les yeux de l'observateur. Si l'on veut, au contraire, obtenir une reproduction réduite ou amplifiée de l'objet, on peut donner à la surface de congruence une position différente, et elle ne contient plus alors le *point de vue*, qui représente le milieu de la ligne de jonction des deux yeux de l'observateur.

Tous les plans de l'original restent plans dans le relief, toutes les lignes droites y restent droites.

Tous les plans et toutes les lignes droites de l'original qui sont parallèles à la surface de congruence restent également parallèles à cette surface et à eux-mêmes, dans le relief.

Tous les autres plans parallèles de l'original se coupent, dans le relief, suivant une ligne droite du fond.

Toutes les lignes droites parallèles de l'original et qui ne sont pas parallèles à la surface de congruence se coupent en un point du fond.

Tous les plans et toutes les lignes droites qui passent par le point de vue conservent leur position dans le relief.

Enfin, si nous désignons par f et par φ les distances respectives d'un

(1) J. A. Breysig, Versuch einer Erläuterung der Reliefsperspective, Magdeburg, 1798.

point de l'original et de son image à la surface de congruence, et par g, la distance du fond à cette surface, l'équation

$$\frac{1}{\varphi} - \frac{1}{f} = \frac{1}{g}$$

donne la distance φ ; c'est la même formule qui donnerait la distance φ de l'image fournie par une lentille concave dont la distance focale serait $-g$.

Absolument comme dans les images d'une semblable lentille, les images des objets éloignés se rapprochent beaucoup les unes des autres, tandis que les images des objets voisins affectent une troisième dimension relativement plus grande. Ainsi, une lentille concave donne un relief exact des objets qu'on regarde par son intermédiaire.

Si l'on fait coïncider le plan de congruence avec le fond, l'image en relief devient une image plane perspective.

Les images en relief représentent par des différences de profondeur égales les différences de profondeur également bien perceptibles ; et nous pouvons dire, dans ce sens, qu'à la vision binoculaire nous voyons le monde extérieur comme dans une image en relief. Comme dans une semblable image, les distances mutuelles d'objets très-éloignés, prises dans le sens de la troisième dimension, ne sont perçues par nous que très-faiblement, même quand elles sont considérables, tandis que, pour des objets voisins, on voit nettement même les petites différences de profondeur.

J'ai encore à parler, pour finir, de certaines erreurs qui se présentent dans l'appréciation binoculaire des directions de lignes, et sur lesquelles E. Hering a appelé l'attention. — Lorsqu'on regarde un long fil vertical, suspendu en avant d'un mur un peu éloigné qui soit peint d'une manière uniforme et ne présente ni point ni ligne remarquable pouvant servir à s'orienter sur la position de la verticale ou de l'horizontale, si le fil est assez long pour qu'on ne puisse pas en voir les extrémités, ou si on le regarde à travers un cylindre creux qui empêche de voir les extrémités du fil et les objets voisins, on peut cependant encore apprécier, à la vision binoculaire, si le fil est réellement vertical ou non, et, s'il ne paraît pas vertical, on peut chercher à l'amener dans cette position en déplaçant son extrémité inférieure. J'ai trouvé, d'accord avec Hering (1), que si, pour la position de la tête qu'on a choisie, le plan de visée horizontal est dans sa position primaire, et si le fil est dans le

(1) Beiträge zur Physiologie, Heft V, 297.

plan médian, on reconnaît le fil comme vertical lorsqu'il l'est réellement. Mais si l'on incline la tête en arrière, de manière que le plan de visée soit au-dessous de sa position primaire, sans que le fil sorte du plan médian, il faut éloigner de l'observateur l'extrémité inférieure du fil. Au contraire, si la tête est penchée en avant, le plan de visée est alors au-dessus de sa position primaire, et il faut rapprocher de l'observateur l'extrémité inférieure du fil, pour que celui-ci paraisse vertical.

Lorsque le fil, au lieu d'être dans le plan médian, se trouve à droite de ce plan, on reconnaît encore sa position verticale, si la tête est droite et que le plan de visée horizontal se trouve dans sa position primaire; il faut encore rapprocher son extrémité inférieure quand on penche la tête en avant. Pour déterminer approximativement le plan dans lequel il faut incliner le fil pour qu'il paraisse vertical, j'ai passé autour de son extrémité inférieure un second fil formant un nœud lâche; le second fil me servait pour tirer le premier à moi, jusqu'à ce qu'il me parût vertical. Abaissant alors le regard vers le fil horizontal, ce qui fait apparaître le premier sous forme de deux images fortement divergentes, le fil horizontal partageait ordinairement en deux parties égales l'angle de ces deux images, d'où il résulte que le fil qui paraît vertical doit se trouver dans le plan vertical bissecteur de l'angle de convergence, au moins approximativement et autant que le degré d'exactitude de cette manière d'opérer se prête à le constater.

Lorsque la tête était renversée en arrière, il fallait, au contraire, éloigner de moi l'extrémité inférieure du fil; autant qu'il était possible d'en juger, il fallait faire agir alors le fil horizontal suivant la même direction qu'auparavant, mais en sens contraire.

L'explication de ces faits me paraît se rattacher à cette circonstance, mentionnée à la page 777 du paragraphe précédent, que, lorsque les yeux convergent, nous apprécions la direction et la position des objets comme si l'œil affectait une direction parallèle à la direction moyenne de la vision et une torsion correspondante. On ne tient pas compte, dans cet acte, de la convergence réelle des yeux. Si nous appliquons cette loi au cas qui nous occupe, il en résulte que *les lignes nous paraissent perpendiculaires au plan de visée lorsqu'elles se représentent sur des méridiens de l'œil qui seraient réellement perpendiculaires au plan de visée pour une position de l'œil parallèle à la direction moyenne de la vision.*

Lorsque le point de fixation se trouve dans le plan médian, la direction visuelle moyenne est parallèle à ce plan, et n'exige pas de rotation autour de l'axe longitudinal, pour des yeux qui suivent la loi de Listing.

Ainsi, les méridiens qui sont perpendiculaires au plan de visée lorsque celui-ci est dans sa position primaire continuent d'être perpendiculaires à ce plan lorsqu'il est ascendant ou descendant, et cela tant que les yeux sont parallèles à la direction visuelle moyenne, c'est-à-dire au plan médian. Mais si l'on passe à la convergence, pour une position descendante du plan de visée, ces méridiens tournent de manière à converger en haut ; le contraire a lieu pour la position ascendante du plan de visée. L'intersection de ces deux méridiens serait la ligne qui paraît perpendiculaire au plan de visée, ligne qui se rapprocherait de l'observateur par son extrémité supérieure, dans le premier cas, et par son extrémité inférieure dans le second.

Mais lors des directions latérales du regard, tant ascendantes que descendantes, les méridiens perpendiculaires au plan de visée ne sont plus les mêmes que dans la position primaire. Il est facile, en effet, de s'assurer que le fil vertical apparent ne se représente pas, dans les deux yeux, sur les méridiens perpendiculaires à la position primaire : il suffit, à cet effet, de disposer exactement en face de soi, sur le mur, une bande verticale qui fournisse des images accidentelles bien nettes. Ces images accidentelles forment alors, en partie, de très-grands angles avec le fil qui paraît vertical, lorsqu'on fixe ce fil. Le fil vertical apparent paraît donc situé sur les méridiens qui seraient verticaux pour une position du regard parallèle à la direction visuelle moyenne (1).

Mais il faut remarquer que, d'après les expériences de Volkmann, que je trouve confirmées pour mes yeux, lorsqu'on regarde avec un œil, et sans torsion, les méridiens perpendiculaires en apparence à l'horizon rétinien paraissent absolument verticaux, tandis qu'à la vision binoculaire la ligne verticale doit répondre aux deux méridiens réellement perpendiculaires au plan de visée. On voit donc que, lors de la vision binoculaire, les influences opposées que pourrait exercer l'inclinaison du méridien vertical apparent de chaque œil sur l'appréciation d'une direction verticale se détruisent mutuellement. On comprend facilement qu'il puisse en être ainsi pour les inclinaisons à droite et à gauche ; mais il faut remarquer que l'écart du méridien vertical apparent reste sans action sur la manière d'apprécier une inclinaison en avant ou en arrière. Nous verrons dans le paragraphe suivant que cet écart s'est probable-

(1) M. E. Hering a rattaché ces phénomènes à l'étude de l'horoptère, point sur lequel nous reviendrons dans le paragraphe suivant. Je ferai remarquer que, pour moi, les lignes qui paraissent perpendiculaires au plan de visée ne se trouvent *jamais* dans l'horoptère, mais apparaissent toujours sous forme d'images doubles qui se croisent. Comme, pour les yeux de M. Hering, l'écart entre le méridien qui paraît perpendiculaire à l'horizon rétinien et celui qui l'est réellement, est nul ou très-faible, la règle qu'il a posée peut bien avoir une exactitude individuelle pour son œil, du moins pour les positions médianes dont il parle.

ment produit lors de la contemplation de lignes horizontales, et l'on comprend alors qu'il ne puisse pas nous induire en erreur au sujet des lignes verticales.

D'ailleurs ce n'est pas seulement pour les lignes qui passent par le point de fixation et qui sont situées dans le plan médian, qu'il se produit des erreurs de ce genre au sujet de la troisième dimension ; il en est de même des lignes autrement situées et qui, passant par le point de fixation, ne sont qu'approximativement perpendiculaires à la direction visuelle moyenne. La direction apparente de semblables lignes répond à la loi posée plus haut. Nous les interprétons comme si nous avions reçu les mêmes images rétiniennes pour une position des yeux parallèle à la direction visuelle moyenne.

Recklinghausen a fait voir, sous ce rapport, que si, après avoir dessiné, sur une surface plane, une étoile composée d'un certain nombre de lignes se coupant toutes en un même point, on fixe invariablement le point d'intersection, pour une position élevée du regard, les rayons supérieurs paraissent situés sur une surface conique concave, et les rayons inférieurs, sur une surface convexe ; le contraire a lieu si l'on fixe le point d'intersection des rayons en dirigeant le regard en bas. Je trouve l'illusion encore plus frappante en supprimant les rayons à peu près horizontaux et en remplaçant le dessin par des fils métalliques fins et lisses, piqués dans un bouchon de liége, situés tous dans un même plan et passant tous par un même point.

D'après la théorie qui résulte de la loi indiquée plus haut, ces lignes doivent paraître situées sur une surface conique du second degré, dont le sommet se trouve au point de fixation, qui passe par les deux lignes de regard et qui coupe le plan mené perpendiculairement au plan de visée par les centres des yeux, suivant une ellipse dont l'axe vertical est un peu plus grand que l'axe horizontal.

Recklinghausen a encore déterminé expérimentalement la position de lignes qui paraissent perpendiculaires à la direction visuelle moyenne quand on élève ou qu'on abaisse le regard. Il se servait, à cet effet, d'un fil métallique fin et lisse, qu'une charnière délicatement travaillée permettait de plier en son milieu de manière à lui donner différentes inclinaisons par rapport à la direction visuelle moyenne (bissectrice de l'angle de convergence). L'articulation qui portait le fil était fixée, d'un autre côté, à une baguette de fer, située sur le prolongement de la direction visuelle moyenne, et mobile autour de son axe longitudinal. A l'aide de cette rotation, on pouvait donner, au plan dans lequel se déplaçait le fil, des inclinaisons différentes par rapport au plan de visée, et, pour chaque position de ce plan, on pouvait chercher la position à

donner au fil pour que ces deux extrémités parussent également éloignées de l'observateur.

La théorie, ainsi qu'on le verra plus loin, exige encore, pour ces positions du fil, une surface conique du second degré passant par le point de fixation et par les lignes de regard. Les mensurations de Recklinghausen s'accordèrent très-bien avec ces déductions de la théorie. Il donna, à cette surface, le nom de *surface normale*, parce qu'elle contient les lignes qui paraissent normales à la direction visuelle moyenne.

Pour les yeux qui ne présentent pas d'écart du méridien vertical apparent, cette surface normale se confondrait, pour des lignes qui passent par le point de fixation, avec la surface horoptérique, que nous examinerons dans le paragraphe suivant. Ces deux surfaces ne se confondent pas, au contraire, pour les yeux dont le méridien vertical apparent ne se confond pas avec le méridien vertical véritable (1) ; c'est ce qu'on verra dans le prochain paragraphe.

Si l'on dessine un système de cercles concentriques dont on fixe le centre avec une position convergente des lignes visuelles et une position inclinée du plan de regard, ces cercles subissent également une petite rotation apparente autour de leur axe horizontal, dans le même sens que les lignes verticales, mais d'une valeur moindre. Si l'on a figuré, de plus, un diamètre vertical des cercles, celui-ci s'incline plus que les cercles et paraît s'en séparer. Pour la position ascendante du plan de regard, c'est l'extrémité supérieure du diamètre qui paraît plus rapprochée de l'observateur que le plan des cercles. L'inverse a lieu pour la position descendante du plan de regard.

Comme les arcs horizontaux des cercles ne donnent pas une notion binoculaire sûrement déterminée, ils paraissent parfois s'infléchir pour sortir du plan et s'attacher au diamètre.

Cette expérience encore réussit bien plus facilement si l'on construit les cercles et le diamètre avec des fils métalliques très-fins. La production de l'illusion exige que l'image ne donne pas, à l'observateur, le moyen de reconnaître la rotation qu'exécutent ses yeux. Sur une feuille de papier il ne manque pas, en général, de points de repère qui puissent indiquer à l'observateur qu'il a devant lui deux images du même objet qui ont tourné l'une sur l'autre. Les objets destinés à ces expériences doivent être faits de manière à pouvoir permettre encore l'interprétation d'un objet réel, malgré les petites rotations de leurs images

(1) Recklinghausen n'a pas fait lui-même cette distinction ; car bien que ce soit lui qui a découvert l'écart du méridien vertical apparent, il ne connaissait pas encore l'influence de cet écart sur la position des points identiques.

rétiniennes. Nous avons trouvé plus haut une condition analogue lorsqu'il s'agissait de reconnaître la convergence d'après certaines particularités des images.

RÈGLES DE LA PROJECTION STÉRÉOSCOPIQUE.

Supposons que le plan du papier (fig. 194) représente le plan de visée, dans lequel les points P et Q seront les centres des lignes de visée pour les deux yeux. Soit AB l'intersection, avec le plan de visée, d'un dessin stéréoscopique perpendiculaire à ce plan aussi bien qu'au plan médian de la tête, ce dessin se trouvant ainsi dans la position où l'on met généralement les dessins stéréoscopiques. Soit CD la ligne médiane du plan de visée, S un point à représenter, qui peut être situé en dehors du plan de visée, cas dans lequel S représente le pied de la perpendiculaire abaissée de ce point sur le plan de visée. Pour trouver la projection du point S dans les deux dessins, menons les lignes SP et SQ, qui coupent

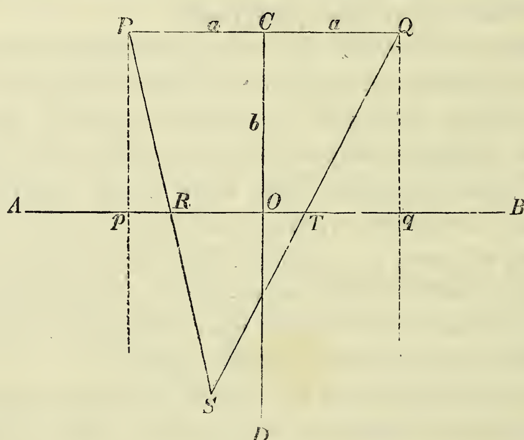


FIG. 194.

le plan du dessin en R et en T. Ces deux points sont ceux où il faut représenter S respectivement pour l'œil P et pour l'œil Q. Pour désigner la position de ces points, nous nous servirons de coordonnées rectangulaires parallèles respectivement au plan de visée, au plan médian et au plan du dessin à construire, et dont l'origine O soit le point d'intersection de ces trois plans. Soient d'ailleurs OA la direction des x positifs, OD celle des z positifs, celle des y étant perpendiculaire au plan du papier. Désignons, d'après cela, les coordonnées :

1° du point P,	2° du point Q,
par $x = +a$,	par $x = -a$,
$z = -b$,	$z = -b$,
$y = 0$;	$y = 0$;

3° du point S,

par $x = \alpha$, $y = \beta$, $z = \gamma$;

4° du point R, 5° du point T,

par $x = \xi_0$, $y = \upsilon_0$, $z = 0$; par $x = \xi_1$, $y = \upsilon_1$, $z = 0$;

les conditions pour que les points P, R, S se trouvent en ligne droite, sont

$$\frac{\alpha - a}{\alpha - \xi_0} = \frac{\beta}{\beta - \upsilon_0} = \frac{\gamma + b}{\gamma} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1),$$

et celles pour que Q, T et S soient en ligne droite sont

$$\frac{\alpha + a}{\alpha - \xi_1} = \frac{\beta}{\beta - \upsilon_1} = \frac{\gamma + b}{\gamma} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2).$$

On voit d'abord que

$$\upsilon_0 = \upsilon_1 = \frac{\beta b}{\gamma + b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1a),$$

c'est-à-dire que, dans les deux images, les hauteurs des points correspondants au-dessus de la ligne horizontale AB doivent être égales.

Les deux équations donnent, de plus,

$$\xi_0 = \alpha - \frac{\gamma(\alpha - a)}{\gamma + b} = \frac{\alpha b + \gamma a}{b + \gamma},$$

$$\xi_1 = \alpha - \frac{\gamma(\alpha + a)}{\gamma + b} = \frac{\alpha b - \gamma a}{b + \gamma}.$$

La différence ε de ces deux valeurs,

$$\varepsilon = \xi_0 - \xi_1 = \frac{2\gamma a}{b + \gamma} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1b),$$

est indépendante des valeurs de α et de β; elle est donc la même pour tous les points situés à la même distance en arrière du plan du dessin. Cette différence $(\xi_0 - \xi_1)$ désigne la grandeur du déplacement que subissent, à droite ou à gauche, les points de l'un des dessins par rapport à ceux de l'autre, en admettant qu'on superpose ces dessins en faisant coïncider les points supposés dans le plan même du dessin (le cadre, par exemple). Dans un grand nombre de cas il vaut mieux, au contraire, comparer les dessins en faisant coïncider les points infiniment éloignés, tels que les points p, q que rencontrent les deux lignes de regard Pp et Qq, parallèles à CD. Si nous posons $\gamma = \infty$, l'équation 1b) donne

$$\varepsilon_\infty = 2a,$$

et si nous posons

$$e = \varepsilon_\infty - \varepsilon$$

et

$$b + \gamma = \rho,$$

il vient

$$e = \frac{2ab}{\rho} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1c).$$

Dans cette équation, $2a$ désigne la distance des deux yeux, b la distance du dessin, ρ la distance de l'objet à un plan mené, par les centres des deux yeux, perpendiculairement au plan de visée. Pour tous les points réels, situés en avant des yeux, e est nécessairement toujours positif, puisque 2α, b et ρ sont toujours positifs; on voit donc que, dans l'image destinée à l'œil droit, tout point plus rapproché se trouve plus à gauche que dans celle de l'œil gauche. L'équation 1c) montre en même temps que la *différence stéréoscopique*, e, est très-petite pour de grandes distances, et ne devient grande que pour de petites valeurs de ρ.

Cette circonstance, que la valeur de e est la même pour tous les objets situés dans un même plan parallèle au plan du dessin, a été utilisée par O.-N. Rood (1), pour construire un instrument à l'aide duquel on peut tracer des images stéréoscopiques conjuguées en partant d'un dessin perspectif unique d'un objet quelconque. On fixe sur une lame de verre horizontale l'original rendu transparent avec de l'huile, on l'éclaire par en dessous, et l'on pose sur le dessin un cadre rectangulaire, sur la face inférieure duquel on a tendu une feuille de papier. On peut, à l'aide d'une vis, donner à ce cadre de légers mouvements vers la droite ou vers la gauche. On calque une première fois le dessin, sans changer la position du cadre; on fait ensuite le second dessin en commençant par la ligne la plus antérieure et passant successivement aux lignes les plus éloignées; pendant la confection de cette seconde épreuve, toutes les fois qu'on passe à des points plus éloignés, on déplace le cadre de la faible quantité qui répond à la différence de profondeur. On obtient, de cette manière, deux dessins qui, combinés au stéréoscope, donnent l'effet du relief.

Lorsqu'on projette stéréoscopiquement deux points éloignés de distances différentes, $\rho_{\prime}$ et $\rho_{\prime\prime}$, si l'on désigne par $e_{\prime}$ et $e_{\prime\prime}$ les différences stéréoscopiques correspondantes, on a

$$e_{\prime} - e_{\prime\prime} = 2ab\left(\frac{1}{\rho_{\prime}} - \frac{1}{\rho_{\prime\prime}}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2a).$$

Supposons que, dans cette équation, $e_{\prime} - e_{\prime\prime}$ soit la plus petite distance perceptible dans le dessin, nous obtenons, pour les distances $\rho_{\prime}$ et $\rho_{\prime\prime}$, des valeurs correspondantes qui sont à la limite des différences perceptibles. Posant, pour abréger,

$$\frac{2ab}{e_{\prime} - e_{\prime\prime}} = f,$$

l'équation 2a) devient

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\rho_{\prime}} - \frac{1}{\rho_{\prime\prime}},$$

ce qui est la formule donnée plus haut pour ce cas. Si nous désignons par $\mathfrak{r}$ la moyenne géométrique de ρ et de $\rho_{\prime\prime}$, cette dernière formule peut s'écrire encore

$$\rho_{\prime\prime} - \rho_{\prime} = \frac{\mathfrak{r}^2}{f},$$

(1) *American journal of science and arts*, jan. 1861, XXXI, p. 71.

c'est-à-dire que *les différences d'éloignement perceptibles au stéréoscope, augmentent comme le carré de la distance moyenne géométrique* $\mathfrak{x}$.

Pour nous procurer un aperçu des modifications que subit le relief stéréoscopique pour différents déplacements des images, il faut exprimer les coordonnées apparentes du point α, β, γ en fonction de celles de ses deux images, ξ_0, ξ_1, υ. Il résulte des équations 1) et 2) la relation

$$\frac{\alpha - a}{\alpha - \xi_0} = \frac{\alpha + a}{\alpha - \xi_1}$$

ou bien

$$\alpha = \frac{a(\xi_1 + \xi_0)}{2a + \xi_1 - \xi_0};$$

de même

$$\beta = \frac{2\upsilon a}{2a + \xi_1 - \xi_0}$$

et

$$\gamma = \frac{b(\xi_0 - \xi_1)}{2a + \xi_1 - \xi_0},$$

ou si, comme précédemment, nous posons la différence stéréoscopique

$$2a + \xi_1 - \xi_0 = e,$$

désignant par $\mathfrak{x}$ la moyenne arithmétique de ξ_1 et ξ_0, il vient

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \mathfrak{x}\,\frac{2a}{e} \\ \beta &= \upsilon\,\frac{2a}{e} \\ \rho = \gamma + b &= b\,\frac{2a}{e} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3a).$$

Si, pendant que nous fusionnons deux photographies stéréoscopiques conjuguées, nous les déplaçons horizontalement dans leur plan de manière à faire augmenter $\mathfrak{x}$ sans faire varier e, υ et b, les valeurs de α augmentent sans que celles de β et de ρ subissent aucun changement. L'augmentation de α est plus grande que celle de $\mathfrak{x}$, dans le rapport de $2a$ à e. Éliminant la différence stéréoscopique e entre la première et la troisième des équations 3a), il vient

$$\alpha = \rho \cdot \frac{\mathfrak{x}}{b}.$$

Les accroissements de α sont donc aussi proportionnels à la distance apparente ρ du point de l'objet ; on voit donc que les points qui, avant le déplacement de l'épreuve stéréoscopique, paraissaient situés exactement les uns derrière les autres, c'est-à-dire pour lesquels la valeur de $\mathfrak{x}$ était la même, se trouvent encore, après le déplacement, sur une même ligne droite qui passe par le milieu de la ligne de jonction des deux yeux.

Si nous éloignons des yeux un couple d'images stéréoscopiques, ce qui revient à faire augmenter b sans faire varier $\mathfrak{x}$, υ, e et a, les valeurs de α et de β restent inaltérées, tandis que la troisième dimension ρ augmente dans la même proportion que b. Il est facile d'observer qu'effectivement, lorsqu'on éloigne une épreuve stéréoscopique tout en maintenant le parallélisme des lignes visuelles nécessaire pour la fusion, le relief devient d'autant plus marqué qu'on augmente davantage la distance de l'épreuve.

Enfin, pour nous procurer un aperçu des changements qui surviennent lorsqu'on fait varier la distance qui sépare deux images stéréoscopiques, écrivons les équations 3a) sous la forme

$$\left.\begin{aligned} \frac{\alpha}{\rho} &= \frac{\mathfrak{x}}{b} \\ \frac{\beta}{\rho} &= \frac{\upsilon}{b} \\ \frac{1}{\rho} &= \frac{e}{2ab} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3\,b),$$

et remarquons, en même temps, qu'on a $2\mathfrak{x} = \xi_0 + \xi_1$ et $e = 2a + \xi_1 - \xi_0$. Si l'on rapproche les dessins en les déplaçant chacun de la quantité η, il en résulte que ξ_0 diminue et que ξ_1 augmente de la quantité η; par suite, $\mathfrak{x}$ (ainsi que υ) reste invariable, tandis que la valeur de e augmente de 2η. Nommons maintenant α_1, β_1, ρ_1 les valeurs que prennent α, β, ρ, après ce déplacement : les équations 3b) deviennent

$$\frac{\alpha_1}{\rho_1} = \frac{\mathfrak{x}}{b}, \qquad \frac{\beta_1}{\rho_1} = \frac{\upsilon}{b}, \qquad \frac{1}{\rho_1} = \frac{e + 2\eta}{2ab}.$$

Si, dans ces nouvelles équations, on remplace $\mathfrak{x}$, υ et e par leurs valeurs tirées de 3b), on obtient

$$\left.\frac{\alpha_1}{\rho_1} = \frac{\alpha}{\rho}, \qquad \frac{\beta_1}{\rho_1} = \frac{\beta}{\rho}, \qquad \frac{1}{\rho_1} = \frac{1}{\rho} + \frac{\eta}{ab}\right\} \ldots \quad 4).$$

Dans ces relations, α, β, ρ sont les coordonnées primitives du point de l'espace, prises par rapport à un système dont l'origine, à laquelle nous donnerons le nom de *point de vue*, est située au milieu de la ligne qui joint les deux yeux ; α_1, β_1, ρ_1, sont, dans le même système, les coordonnées de la position que paraît prendre le point après le rapprochement des projections stéréoscopiques exactes. Les équations 4) donnent, sans indétermination, la position que prend l'image de chaque point, après le déplacement des dessins. Les deux premières équations nous apprennent que la position apparente et la position vraie du point sont situées toutes deux sur une même ligne droite qui passe par l'origine des coordonnées. La troisième équation indique que sa distance au plan vertical mené par les deux yeux a changé, et que, pour des valeurs positives de η, elle a diminué. Posant $ab : \eta = p$, cette dernière équation devient

$$\frac{1}{\rho_1} = \frac{1}{\rho} + \frac{1}{p} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4a),$$

ce qui est en même temps l'équation qui donnerait, pour une lentille concave de distance focale p, la distance de l'objet ρ et de son image ρ_1.

Pour les points infiniment éloignés, il vient $\rho = \infty$ et $\rho_1 = p$.

La distance p est donc celle où se trouve le plan dans lequel se peignent tous les points infiniment éloignés de l'original; avec Breysig, nous lui donnerons le nom de *plan principal.*

Si le point α, β, ρ est un point quelconque d'un certain plan déterminé, c'est-à-dire s'il existe pour ce point une équation de la forme

$$A\alpha + B\beta + C\rho + D = 0 \dots\dots\dots\dots 5),$$

il résulte des équations 4) et 4a) la relation

$$A\alpha_1 + B\beta_1 + \left[C - \frac{D}{p}\right]\rho_1 + D = 0 \dots\dots 5a).$$

On voit donc que les points de l'image sont également compris dans un plan; et si l'on a $A = B = 0$, c'est-à-dire si le plan de l'original est parallèle au plan vertical $\rho = 0$ mené par les deux yeux, l'image de ce plan est également parallèle à la position qu'occupe ce plan dans l'original. Si l'on a, de plus, $D = 0$, c'est-à-dire si le plan de l'original passe par l'origine des coordonnées, ou *point de vue*, le plan de l'image coïncide exactement avec le plan de l'objet.

Si nous avons, dans l'original, un groupe de plans parallèles dont les équations, données sous la forme 5) ne diffèrent entre elles que par la valeur de D, l'équation 5a) des images de ces plans, lorsqu'on y fait $\rho_1 = p$, se réduit à

$$A\alpha_1 + B\beta_1 + Cp = 0 \dots\dots\dots\dots 4c),$$

équation indépendante de D. Cela signifie que les images de tous ces plans parallèles coupent le plan $\rho_1 = p$ (le plan principal) suivant une même ligne droite dont l'équation est 4c).

On voit donc que les images d'un groupe de plans parallèles ne se rencontrent pas et ne rencontrent pas le plan principal, à moins de se rencontrer toutes en une même ligne, leur *ligne de fuite*, qui est située également dans le plan principal. Comme, d'après une observation faite plus haut, dans notre groupe de plans parallèles, celui qui passe par l'origine des coordonnées coïncide nécessairement avec son image, ce plan de l'objet doit couper aussi le plan principal suivant la ligne de fuite. Par conséquent, pour trouver la ligne de fuite d'un groupe de plans parallèles, il suffit de mener par le point de vue un plan qui leur soit parallèle : la ligne de fuite demandée est l'intersection de ce plan avec le plan principal.

Mettons maintenant les équations 4) sous la forme

$$\alpha_1 - \alpha + \frac{\alpha\rho_1}{p} = 0, \qquad \beta_1 - \beta + \frac{\beta\rho_1}{p} = 0, \qquad \rho_1 = \frac{\rho\, ab}{ab + \rho n},$$

pour $\rho = 0$, il faut qu'on ait

$$\rho_1 = \rho = 0, \qquad \alpha_1 = \alpha, \qquad \beta_1 = \beta,$$

et, par conséquent, pour chaque point du plan $\rho = 0$, l'image coïncide avec l'original.

Nommons *plan de congruence* (*plan d'image* de Breysig), ce plan $\rho = 0$; il suffit, pour construire l'image d'un plan quelconque A de l'original, de faire passer un plan par l'intersection de A avec le plan de congruence et par la ligne de fuite relative à A.

On peut considérer les lignes droites de l'original comme étant les intersections de plans deux à deux. Leurs images, devant être les intersections des images de deux plans, sont donc nécessairement des lignes droites. On peut considérer un groupe de droites parallèles comme formé par les intersections de deux groupes de plans parallèles. Les images de ces plans coupent respectivement le plan principal suivant leurs deux lignes de fuite respectives ; par conséquent leurs intersections, c'est à-dire les images des lignes parallèles de l'original, passent nécessairement par le point d'intersection des deux lignes de fuite, si toutefois ces deux lignes de fuite se rencontrent, ce qui n'aurait pas lieu si les lignes parallèles données étaient parallèles au plan principal et au plan du visage.

Ainsi, les images de lignes droites parallèles qui ne sont pas parallèles au plan principal, coupent ce plan en un point, le *point de fuite*.

Pour une ligne droite de l'original, qui ne soit pas parallèle au plan principal, on trouve le point de fuite en menant par le point de vue une parallèle à cette droite: l'intersection de cette parallèle avec le plan principal est le point de fuite.

Pour trouver l'image d'une ligne droite de l'original, il suffit de mener une ligne droite par l'intersection de la droite donnée avec le plan de congruence et par le point de fuite.

On voit que ces règles de construction sont absolument les mêmes que celles qui ont été indiquées pour les *reliefs*, avec cette seule différence que, pour les reliefs, le plan dont les points coïncident avec leurs images (*plan d'image* de Breysig) ne passe pas nécessairement par les yeux ; pour les reproductions en relief, cette condition n'a besoin d'être remplie que lorsque la grandeur de l'objet à représenter doit paraître inaltérée.

En effet, qu'on se figure les coordonnées des points de l'original réduites ou augmentées toutes dans le même rapport, il faut, dans les équations 4), remplacer respectivement.

$$\alpha, \quad \beta, \quad \rho,$$

par

$$n\alpha, \quad n\beta, \quad n\rho;$$

alors les équations 4) deviennent

$$\left.\frac{\alpha_1}{\rho_1} = \frac{\alpha}{\rho}, \qquad \frac{\beta_1}{\rho_1} = \frac{\beta}{\rho} \qquad \frac{1}{\rho_1} = \frac{1}{n\rho} + \frac{1}{p}\right\} \quad \ldots\ldots \quad 6).$$

Quand ρ est infini, il vient $\rho_1 = p$; le plan $\rho_1 = p$ est donc le *plan principal*, dans lequel viennent se représenter les points infiniment éloignés

Si l'on considère dans l'original un plan

$$A\alpha + B\beta + C\rho + D = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 5),$$

l'équation 6) donne pour son image :

$$A\alpha_1 + B\beta_1 + \left[C - D\frac{n}{p}\right]\rho_1 + Dn = 0 \ldots\ldots 5\text{b}).$$

Pour $D = 0$, la seconde de ces équations devient identique avec la première, et le plan original coïncide avec son image. Cette condition est satisfaite par les plans qui passent par le point $\alpha = \beta = \rho = 0$, lequel prend donc la signification de *point de vue.* Enfin, les plans 5 et 5b) se coupent pour

ou bien

$$\left.\begin{aligned} D &= Dn - Dn\frac{\rho_1}{p} \\ \rho_1 &= p \cdot \frac{n-1}{n} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots 5\text{c}).$$

Le plan donné par l'équation 5c), *qui ne contient pas* le point de vue, est donc le plan de congruence. Aussitôt, donc, que le relief est construit d'après les règles généralement admises et que le point de vue n'est pas situé dans le plan de congruence, ce relief, lorsqu'on le regarde en se plaçant au point de vue exact, est optiquement pareil à un modèle réduit ou amplifié, par rapport auquel la position relative du point de vue de l'observateur n'a pas changé. Alors l'angle visuel sous lequel apparaît ce modèle en relief est le même que pour l'original. Ce relief répond à un objet dont les dimensions linéaires seraient augmentées ou diminuées, suivant que le plan de congruence est situé entre l'observateur et le relief, ou qu'il est derrière l'observateur.

Quand le plan de congruence devient infiniment voisin du plan principal ($n = \infty$), le relief devient un dessin de perspective plan.

Les modifications qui paraissent se produire lorsqu'on fait varier, dans leur plan, la distance respective de deux représentations stéréoscopiques exactes d'un objet, sont donc du même genre que les différences qu'on réalise dans la représentation des objets par des reliefs. Le phénomène est, d'ailleurs, facile à constater sur les images stéréoscopiques, et ce moyen permet de produire aisément la notion exacte du relief de l'objet. Cependant il faut remarquer ici que lorsqu'il s'agit d'objets connus, nous obtenons généralement une notion exacte de la troisième dimension, même sans donner aux images l'écartement convenable. Cela tient à ce que nous ne sommes pas très-sensibles à la valeur absolue de la convergence de nos lignes visuelles, et que, par suite, en l'absence d'autres points de comparaison, nous apprécions ce que nous voyons comme si nos lignes de regard affectaient le degré de convergence qu'exigerait une notion exacte du relief de l'objet.

Il faut remarquer, sans doute, que par le déplacement des images stéréoscopiques dans leur plan, nous ne faisons pas varier seulement le degré de convergence des lignes visuelles, mais aussi l'aspect des images elles-mêmes; en effet, quand nous continuons à fixer le même point du dessin, si les lignes visuelles étaient perpendiculaires d'abord au plan du papier, elles cessent de l'être après le déplacement, et il en résulte une légère différence dans la projection des images sur la rétine. Il est facile de voir que si nous voulions, pour remédier à cet effet,

tourner les dessins de telle sorte que leurs images rétiniennes restent inaltérées, les lignes droites menées aux points correspondants des dessins cesseraient, pour la plupart, de se rencontrer, et que, par conséquent, aucun point réel ne répondrait plus simultanément aux deux points des dessins. On ne pourra voir qu'au paragraphe prochain, lors de l'étude de l'horoptère, comment se fait alors la projection de l'image.

Quand on regarde des images stéréoscopiques par l'intermédiaire de lentilles convexes ou concaves situées tout près des yeux de l'observateur, et dont les centres présentent le même écartement que ses deux yeux, il en résulte que les quantités e, $\mathfrak{x}$ et υ de l'équation 3a) augmentent dans la même proportion que la distance apparente b de l'image; les valeurs de α, β et ρ restent donc inaltérées. Il résulte de là que ces verres ne changent pas la position apparente ni la grandeur du relief stéréoscopique. C'est là un point important, à cause des verres de besicles qui, lorsqu'ils sont convenablement placés, ne produisent pas de changements de dimensions dans l'image d'ensemble, bien que chacune des images optiques soit, en réalité, grossie ou diminuée.

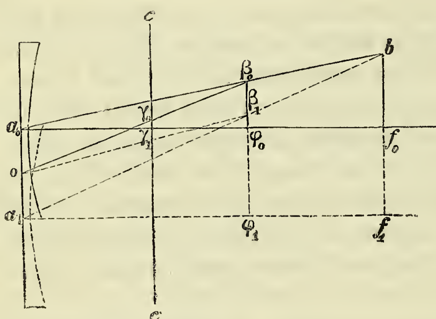


Fig. 195.

Mais pour que les verres de lunettes n'altèrent pas les dimensions et les distances des objets, il est essentiel que leurs centres optiques présentent précisément le même écartement que les points nodaux des yeux placés en parallélisme. Soit a_0 (fig. 195) le centre optique d'un verre de lunettes concave, b l'objet, $a_0 f_0$ l'axe optique du verre; l'image β_0 du point b est située sur la ligne qui va de a_0 en b; et si l'on abaisse de b et de β_0 les perpendiculaires bf_0 et $\beta_0\varphi_0$ sur l'axe optique, désignant par p la distance focale du verre et posant

$$a_0 f_0 = r, \qquad a_0 \varphi_0 = s,$$

on a, d'après les théorèmes du § 9 (p. 85) :

$$\frac{1}{r} - \frac{1}{s} = -\frac{1}{p}.$$

De cette relation résulte la position de β_0. Si l'on déplace maintenant la lentille parallèlement à son plan principal, de manière à amener son centre optique en a_1 et son axe optique en $a_1 f_1$, l'image de b glisse sur la ligne qui joint b et a_1, sans cesser de rester sur la perpendiculaire $\varphi_0\beta_0$. L'image se déplace donc de

$$\beta_0\beta_1 = a_0 a_1 \times \frac{\varphi_0 f_0}{a_0 f_0} = \alpha \cdot \frac{r - s}{r},$$

si nous nommons α le déplacement $a_0 a_1$ du verre. Il résulte de là, en tenant compte des équations précédentes entre r et s,

$$\beta_0 \beta_1 = \alpha \frac{s}{p} = \alpha \frac{r}{r+p} .$$

Figurons-nous en o, immédiatement derrière la lentille concave, un œil qui regarde les images β_0 et β_1 et qui les projette en γ_0 et γ_1 sur le plan immobile cc ; si nous nommons A la distance de ce plan à a_0, le déplacement qu'y paraît subir la projection est

$$\gamma_0 \gamma_1 = \beta_0 \beta_1 \cdot \frac{A}{s} = \frac{\alpha A}{p} ,$$

valeur indépendante de la position de l'objet b. Le déplacement que subit l'image optique lorsqu'on amène la lentille concave de a_0 en a_1 est donc exactement le même que si l'on déplaçait de la quantité $\gamma_0 \gamma_1$ un dessin perspectif de l'objet, tracé dans le plan cc. Plaçons le plan de projection cc au foyer de la lentille, c'est-à-dire faisons $A = p$, alors $\gamma_0 \gamma_1$ devient égal à α, c'est-à-dire au déplacement véritable du verre.

Les phénomènes qui se produisent lorsqu'on décentre des verres de lunettes placés devant les yeux sont donc les mêmes que ceux qui accompagnent les altérations de la distance mutuelle de deux dessins stéréoscopiques. L'expérience vérifie parfaitement cette conséquence de la théorie. Si les centres des verres concaves sont plus rapprochés que les yeux, les objets paraissent trop près ; dans le cas contraire, les objets paraissent trop loin. Pour les verres convexes, c'est le contraire qui a lieu, à cause de la différence du signe de p.

Il faut tenir compte de cette circonstance dans la construction des besicles (1), particulièrement parce que le maintien de l'œil dans une position forcée peut être cause de douleurs dans les yeux et de maux de tête. Des verres concaves trop voisins l'un de l'autre exigent une convergence continuelle des yeux ; trop éloignés, ils nécessitent une position divergente. Ce qui est pire encore, c'est lorsque les centres présentent une différence de hauteur. Les pince-nez, par leur construction, mettent souvent les verres trop près l'un de l'autre, et quand ils sont mal assujettis sur le nez, ils peuvent donner lieu à des différences de hauteur.

Lorsqu'on regarde un objet à travers deux lunettes parallèles, une jumelle d'opéra par exemple, le résultat est le même que si l'on approchait des yeux les dessins stéréoscopiques qui leur sont destinés : toutes les parties de l'image subissent un même grossissement angulaire. Ainsi que nous l'avons vu plus haut, cela répond à un rapprochement de l'objet et à une diminution de sa troisième dimension, les deux autres dimensions restant exactes. Les jumelles rapprochent donc les objets, n'en altèrent pas la grandeur naturelle, mais les aplatissent,

---

(1) Les phénomènes stéréoscopiques auxquels donnent lieu les verres de lunettes sont étudiés avec détail par F. C. DONDERS, in : Anomalies of accommodation and refraction. London, 1864, p. 152-169. — Die Anomalien der Refraction und Accommodation, von F. C. DONDERS, deutsche Originalausgabe von OTTO BECKER. Wien, 1866, p. 121-142. — Traduction française in WECKER, Études ophthalmologiques, II, Paris, 1866, p. 577-596.

comme si c'étaient des bas-reliefs. Il est facile de s'en assurer : une personne vue à travers une jumelle produit un effet peu naturel, voisin de celui que donnerait une peinture plane.

La *théorie du téléstéréoscope* s'obtient facilement en remarquant que, sauf l'interversion entre la droite et la gauche, un observateur voit les objets dans un miroir plan tels que l'image réfléchie de l'œil de l'observateur verrait les objets véritables à travers le verre du miroir.

Soient AA (fig. 196) et BB les deux miroirs, C l'œil de l'observateur. L'œil C voit, dans le second miroir BB, les objets tels que l'image D de cet œil les verrait à travers ce miroir; les distances Cb et Db sont égales. L'image D, à son tour, voit les objets dans le miroir AA tels que les verrait E, image réfléchie de D, en regardant à travers AA. La position de E est déterminée par cette condition que la longueur Ea, mesurée sur le rayon réfléchi, doit être égale à la longueur Da, mesurée sur le rayon incident. Il en résulte, ainsi qu'il a été dit plus haut, que l'œil C voit le paysage tel qu'il apparaîtrait à un œil situé en E. Or, d'après l'équation 1c), la différence stéréoscopique e de deux images, projetée sur un dessin situé à une distance b, est

FIG. 196.

$$e = \frac{2Ab}{r},$$

$2A$ désignant la distance des deux points de vue, et r la distance de l'objet au plan vertical mené par les deux yeux. Dans le téléstéréoscope, cette distance $2A$ est la distance des deux images que donnent les deux yeux, chacun après deux réflexions (r_1 ρ_1 de la fig. 192, p. 821). Substituant cette valeur de e dans les équations 3a), si l'on regarde des points infiniment éloignés, avec des lignes visuelles parallèles, il vient

$$\alpha = \mathfrak{x}\,\frac{a}{A}\,\frac{\mathfrak{r}}{b} = \mathfrak{x}\,\frac{\rho}{b}$$

$$\beta = \upsilon\,\frac{a}{A}\,\frac{\mathfrak{r}}{b} = \upsilon\,\frac{\rho}{b}$$

$$\rho = b\,\frac{a}{A}\,\frac{\mathfrak{r}}{b}.$$

On voit donc que les rapports de α, β et ρ sont les mêmes que ceux de $\mathfrak{x}$, υ et b; nous pouvons considérer ces dernières quantités comme étant les distances véritables, mais la distance apparente ρ est moindre que r, dans le rapport de a à A ; on voit donc que les autres dimensions apparentes sont réduites dans le même rapport. Le paysage présente donc l'aspect d'une réduction exacte de la nature.

Ce qui précède s'applique aux photographies stéréoscopiques de paysages, en prenant pour $2A$ la distance des centres des objectifs des deux chambres noires qui ont servi à obtenir la photographie. Dans la disposition du stéréoscope, il faut faire en sorte que les points infiniment éloignés soient fusionnés pour le parallélisme des lignes visuelles, et que la distance de l'épreuve aux yeux de l'observateur ou aux lentilles du stéréoscope soit égale à celle qui, dans l'appareil photographique, séparait la plaque sensible de l'objectif; autrement, on n'obtiendrait pas un relief exact. Ces deux conditions ne sont généralement pas remplies pour les épreuves photographiques et les stéréoscopes du commerce.

SURFACE NORMALE DE RECKLINGHAUSEN.

Qu'on se figure un système de coordonnées rectangulaires dont l'origine soit située au point de fixation, le plan des xy dans le plan de visée et le plan des zx dans le plan médian de l'observateur. Soient :

$$x = a, \qquad y = b, \qquad z = 0,$$

les coordonnées de l'œil droit, et

$$x = a, \qquad y = -b, \qquad z = 0,$$

celles de l'œil gauche; la distance des yeux est alors $2b$, et celle du point de fixation à la ligne qui joint les deux yeux est a.

La ligne de regard de l'œil droit est donnée par les équations

$$\frac{x}{a} - \frac{y}{b} = 0 \quad \text{et} \quad z = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots 1),$$

celle de l'œil gauche, par les équations

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 0 \quad \text{et} \quad z = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots 1\,a).$$

Multipliant la première des équations 1) par le facteur constant p, et ajoutant la seconde, on obtient la nouvelle équation

$$p\left(\frac{x}{a} - \frac{y}{b}\right) + z = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots 1b),$$

qui est celle d'un plan passant par la ligne de regard de l'œil droit, car les équations 1) étant satisfaites pour tous les points de cette ligne de regard, il en est de même de l'équation 1b). D'après des théorèmes connus, le cosinus de l'angle α

que fait la normale à ce plan avec l'axe des z, ou le cosinus de l'angle formé par ce plan lui-même avec le plan de visée $z = 0$, est donné par l'équation

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{p^2}{a^2} + \frac{p^2}{b^2}}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1\text{c}).$$

Déduisant, de même, de l'équation 1a), l'équation

$$-p\left(\frac{x}{a} + \frac{y}{b}\right) + z = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1\text{d}),$$

cette nouvelle équation est celle d'un plan mené par la ligne de regard de l'œil gauche, et la valeur correspondante de cos α est le même que pour 1c).

De 1c) il résulte

$$p = \frac{\operatorname{tang} \alpha}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}}}$$

ou, si nous posons

$$a = r \cos \gamma, \qquad b = r \sin \gamma,$$

γ étant le demi-angle de convergence et r la distance de chaque œil au point de fixation, il vient

$$p = r \operatorname{tang} \alpha \, . \, \sin \gamma \, . \, \cos \gamma,$$

et les équations 1b) et 1d) deviennent

$$(x \sin \gamma - y \cos \gamma) \operatorname{tang} \alpha + z = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1\text{b}),$$
$$-(x \sin \gamma + y \cos \gamma) \operatorname{tang} \alpha + z = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1\text{d}).$$

Retranchant la seconde de la première, on obtient

$$x \sin \gamma = 0,$$

ce qui veut dire que, quel que soit l'angle α, l'intersection des deux plans 1b) et 1d) est située dans le plan $x = 0$, mené par le point de fixation perpendiculairement au plan de visée et au plan médian. Supposons que cette ligne d'intersection appartienne à l'objet, les deux plans 1b) et 1d) sont les plans de ses rayons de direction.

Si la position considérée jusqu'ici n'a été accompagnée d'aucune torsion, on peut passer à une position accompagnée de torsion en augmentant de δ l'angle α dans 1b) et le diminuant d'autant dans 1d). Nous obtenons alors, pour la nouvelle position de ces deux plans :

$$\operatorname{tang}(\alpha + \delta) = \frac{z}{y \cos \gamma - x \sin \gamma}$$

$$\operatorname{tang}(\alpha - \delta) = \frac{z}{y \cos \gamma + x \sin \gamma}.$$

Nous pouvons tirer de là, pour la tangente de la différence des deux angles,

$$\text{tang}\,(2\delta) = \frac{2zx \sin\gamma}{y^2 \cos\gamma^2 - x^2 \sin^2\gamma + z^2}$$

ce qui revient à

$$z^2 + y^2 \cos^2\gamma - x^2 \sin^2\gamma - 2zx \sin\gamma \,.\, \text{cotang}\,(2\delta) = 0 \, . \; . \; . \; . \; 2),$$

équation d'un cône dont le sommet est à l'origine des coordonnées. En effet, si x, y, z satisfont l'équation 2), elle est également satisfaite par nx, ny, nz ; d'où il résulte que toute droite menée par un point de la surface 2) et l'origine des coordonnées est comprise en entier dans cette surface, laquelle est donc bien un cône.

Les valeurs assignées par les équations 1) et 1a) aux coordonnées des lignes regard satisfont également l'équation 2). Notre cône contient donc les lignes de de regard.

Comme, d'après les principes établis plus haut, lors de la fixation d'un point du plan médian l'interprétation des images visuelles se fait comme s'il ne s'était pas produit de torsion, le faisceau de rayons tracé dans le plan $x = 0$ avant la rotation et celui situé sur le cône de l'équation 2) ne pourront pas se distinguer l'un de l'autre, et le faisceau paraîtra plan ou conique suivant que, dans la première ou dans la seconde position des yeux, les horizons rétiniens coïncideront avec le plan de visée.

Il faut remarquer pourtant que celles des génératrices du cône qui sont très-voisines des lignes de regard, et qui devraient, par conséquent, paraître dirigées vers les yeux mêmes de l'observateur, donneraient un relief trop hardi et trop invraisemblable, ce qui fait qu'il vaut mieux les laisser de côté. Il faut remarquer de plus que celles des génératrices qui passent entre les yeux reçoivent des directions opposées dans les deux yeux, ce qui oblige à les laisser également de côté.

Pour calculer la position apparente de cercles dont on fixe le centre et dont le plan est situé perpendiculairement à la bissectrice de l'angle de convergence, nou ferons usage de cette proposition que, lorsque l'équation d'un plan est donnée sous la forme générale

$$U = ax + by + cz + d$$

avec la condition

$$a^2 + b^2 + c^2 = 1,$$

la valeur de U donne la distance du point x-y-z au plan $U = 0$, la distance de l'origine des coordonnées au même plan étant d.

Mettons l'équation 1b) sous la forme

$$x \sin\gamma \sin\alpha - y \cos\gamma \sin\alpha + z \cos\alpha = U \, . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 3),$$

joignons-y un second plan qui passe aussi par la ligne de regard, mais dans lequel l'angle α soit plus grand d'un angle droit, et qui soit, par conséquent, perpendiculaire à 3),

$$x \sin\gamma \cos\alpha - y \cos\gamma \cos\alpha - z \sin\alpha = V \, . \; . \; . \; . \; . \; . \; 3a),$$

et enfin un troisième plan, perpendiculaire à la ligne de regard,

$$x \cos \gamma + y \sin \gamma - r = W \dots\dots\dots\dots 3b),$$

alors U, V, W sont les coordonnées rectangulaires du point x-y-z, rapportées au système de ces trois plans, et

$$\frac{1}{m^2} U^2 + \frac{1}{n^2} V^2 = W^2 \dots\dots\dots\dots 3c)$$

est l'équation d'un cône du second degré, dont le sommet est au centre de l'œil droit et dont les trois axes principaux sont situés aux intersections des plans

$$U = 0, \qquad V = 0, \qquad W = 0.$$

L'intersection du cône 3c) avec le plan $x = 0$ est donnée par l'équation

$$y^2 \cos^2\gamma \left\{\frac{\sin^2\alpha}{m^2} + \frac{\cos^2\alpha}{n^2}\right\} + z^2 \left\{\frac{\cos^2\alpha}{m^2} + \frac{\sin^2\alpha}{n^2}\right\}$$
$$+ 2yz \cos\gamma \cos\alpha \sin\alpha \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$
$$= y^2 \sin^2\gamma - 2ry \sin\gamma + r^2.$$

Si nous demandons maintenant que, pour la torsion de l'œil pour laquelle α est nul, cette intersection soit un cercle, il faut qu'on ait

$$\frac{\cos^2\gamma}{n^2} - \sin^2\gamma = \frac{1}{m^2} \dots\dots\dots\dots 3\,d).$$

Pour les positions symétriques de l'autre œil, il faut donner en même temps à γ et à α des valeurs négatives. Posons donc

$$\begin{aligned} x \sin\gamma \sin\alpha + y \cos\gamma \sin\alpha + z \cos\alpha &= U', \\ - x \sin\gamma \cos\alpha - y \cos\gamma \cos\alpha + z \sin\alpha &= V', \\ x \cos\gamma - y \sin\gamma - r &= W', \end{aligned}$$

alors l'équation

$$\frac{1}{m^2} U'^2 + \frac{1}{n^2} V'^2 = W'^2 \dots\dots\dots\dots 3e)$$

est celle d'un cône répondant à la question, dont l'axe est la ligne de regard du second œil, dont le sommet est au centre de cet œil, et qui, pour $\alpha = 0$, coupe le plan $x = 0$, et les plans parallèles à celui-là, suivant des cercles, comme le cône 3c).

Si maintenant la position $\alpha = 0$ est accompagnée d'une torsion, et que l'intersection des deux cônes soit un cercle objectif, d'après les règles énoncées plus haut, l'interprétation des images rétiniennes se fait comme s'il n'y avait pas de torsion. L'objet apparent doit donc être sur l'intersection des cônes 3c) et 3e). Si

nous retranchons ces deux équations membre à membre, il ne reste que les termes dont les signes diffèrent, ce qui donne

$$- \frac{1}{m^2} y \cos\gamma \sin\alpha (x \sin\gamma \sin\alpha + z \cos\alpha)$$
$$- \frac{1}{n^2} y \cos\gamma \cos\alpha (x \sin\gamma \cos\alpha - z \sin\alpha)$$
$$= y \sin\gamma (x \cos\gamma - r).$$

Cette équation est satisfaite *soit* pour

$$y = 0$$

soit pour

$$x \sin\gamma \cos\gamma \left[\frac{\sin^2\alpha}{m^2} + \frac{\cos^2\alpha}{n^2} + 1\right] + z \cos\gamma \cos\alpha \sin\alpha \left[\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right] = r \sin\gamma.$$

La première ligne d'intersection serait donc située dans le plan médian, ce qui empêche qu'elle puisse facilement paraître représenter un objet ; en tenant compte de l'équation 3d), le plan de la seconde ligne d'intersection est

$$x (1 - \sin^2\alpha \sin^2\gamma) - z \sin\gamma \sin\alpha \cos\alpha = \frac{rn^2}{(n^2 + 1) \cos\gamma} \quad . \; . \; . \; 3f).$$

Pour le cas de $\alpha = 0$, cette équation devient

$$x = \frac{rn^2}{(n^2 + 1) \cos\gamma} = x_0.$$

La ligne d'intersection des deux cônes est donc située, dans ce cas, à une distance x_0 en avant du plan $x = 0$, dans un plan parallèle à celui-là, et elle est circulaire. — Quand α n'est pas nul, le plan de la ligne d'intersection fait avec le plan $x = 0$ un angle η dont la tangente est

$$\operatorname{tang} \eta = \frac{\sin\gamma \sin\alpha \cos\alpha}{1 - \sin^2\gamma \sin^2\alpha},$$

et ce plan coupe le plan de visée $z = 0$ suivant la ligne

$$x = \frac{x_0}{1 - \sin^2\alpha \sin^2\gamma},$$

c'est-à-dire un peu plus loin de l'œil que précédemment. Dans ce cas, la ligne d'intersection est une ellipse.

Les plans à peu près verticaux des axes des deux cônes

$$V = 0 \quad \text{et} \quad V' = 0$$

se coupent suivant la ligne droite dont les équations sont

$$\left.\begin{array}{r} x \sin\gamma = y \operatorname{tang} \alpha \\ y = 0 \end{array}\right\} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 4);$$

pour $\alpha = 0$, les équations de cette ligne deviennent

$$x = 0, \qquad z = 0.$$

Pour une torsion α des deux yeux, une ligne perpendiculaire au plan de visée paraît donc former avec le plan $x = 0$ un angle η', dont la tangente est

$$\text{tang}\, \eta' = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha \, . \, \sin\gamma}.$$

Et si, ainsi que cela se présente toujours pour les expériences possibles pratiquement, les angles α et γ sont petits, on a

$$\text{tang}\, \eta' > \text{tang}\, \eta.$$

Le diamètre vertical du cercle paraît donc plus incliné par rapport au plan $x = 0$ que le plan du cercle, et c'est pour ce motif qu'il paraît se détacher du cercle, ainsi que Recklinghausen l'a observé. Comme ce sont précisément les éléments horizontaux du contour circulaire qui donnent la localisation binoculaire la moins nettement déterminée, il peut arriver également que le cercle paraisse s'infléchir aux environs du point où passe le diamètre, de manière à ne pas se détacher de cette ligne.

Si, au lieu de regarder un cercle, on regarde des ellipses, l'équation 3d) n'a plus lieu, et l'on trouve que des ellipses à grand axe vertical doivent se pencher de la même manière qu'une ligne verticale, et cela d'autant plus, qu'elles sont plus allongées. Les ellipses à axe horizontal s'inclinent en sens contraire, et d'autant plus aussi qu'elles sont plus étroites.

Modification du stéréoscope à lentilles, de Helmholtz. — Comme, dans les photographies stéréoscopiques ordinaires, la distance des points correspondants n'est pas toujours égale à celle des yeux, et qu'ils présentent même parfois des hauteurs différentes au-dessus de la ligne de base, il faut pouvoir adapter l'instrument à chaque image, si l'on veut obtenir des projections aussi naturelles que possible des objets. Ce but était atteint, de la manière la plus simple, dans un stéréoscope que j'avais reçu de M. Oertling, de Berlin, par l'effet de deux lentilles prismatiques montées dans deux tubes cylindriques mobiles autour de leur axe. Suivant qu'on tournait l'angle réfringent des prismes plus en dedans ou plus en dehors, on pouvait produire une convergence plus forte ou plus faible; on pouvait corriger également des différences de hauteur. J'ai obtenu le même effet, d'une autre façon, dans l'instrument représenté en perspective par la figure 197, et en coupe, à l'échelle de 2/5, par la figure 198. La manœuvre de cet instrument est plus facile que celle du précédent, et les réfractions irrégulières qui résultent de l'emploi de verres prismatiques sont diminuées le plus possible. Ce stéréoscope est principalement construit pour permettre des grossissements plus forts que les stéréoscopes ordinaires, ce qui donne un effet encore plus rapproché de la nature. Cependant il faut remarquer que les photographies sur verre sont presque les seules qui supportent une pareille augmentation de grossissement. La boîte est

pareille à celle du stéréoscope à prismes de Brewster; on introduit l'image par la fente parallèle au fond AA, lequel est formé en grande partie par une lame de verre dépoli. L'observateur regarde à travers les deux bonnettes B_0 B_1, qui contiennent, au lieu de prismes (1), des lentilles convexes centrées. Ces tubes renferment, près de l'œil, une lentille de 12 cent. de distance focale, et, vers leur extrémité inférieure, une seconde lentille dont la distance focale est de 18 cent.

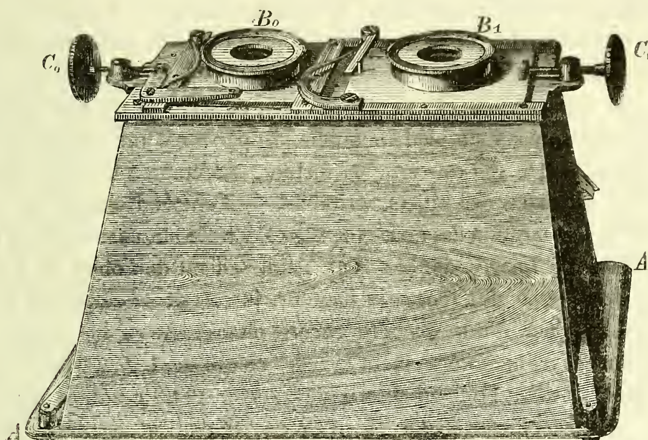


Fig. 197.

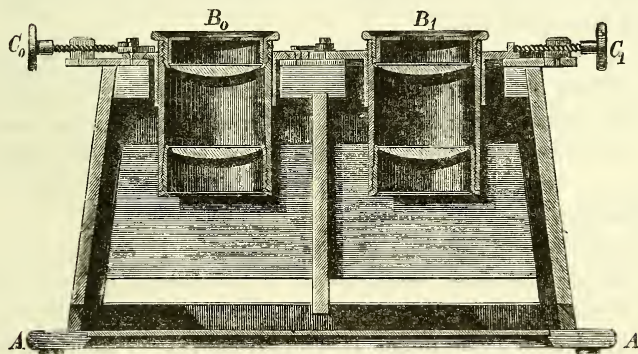


Fig. 198.

On peut supprimer cette seconde lentille quand on ne veut obtenir que le grossissement des stéréoscopes ordinaires; mais alors les images (paysages) paraissent le plus souvent plus petites que l'objet réel ne paraîtrait à un observateur qui prendrait le même point de vue sur le terrain. Chacun des tubes B_0 et B_1 est porté par une plaque rectangulaire, mobile entre deux glissières, de sorte qu'à l'aide des vis C_0 et C_1, les bonnettes B_0 et B_1 peuvent être déplacées respectivement de

(1) M. Claudet a également fait remarquer (*Proc. Roy. Soc.*, VIII, 104-110) qu'il est plus correct de combiner les photographies de paysages à travers des lentilles, en maintenant les lignes visuelles parallèles, et qu'on obtient ainsi des images plus conformes à la réalité.

haut en bas et de droite à gauche dans leur plan. La figure 197 montre comment les vis agissent sur les plaques, C_1 directement et C_0 à l'aide d'un levier coudé.

Je commence par sortir les tubes jusqu'à ce que l'image photographique se trouve au foyer des lentilles convexes, ce qu'on reconnaît facilement en regardant, par en bas, la lame de verre dépoli et en recevant, sur le plan de la photographie stéréoscopique, l'image d'objets éclairés et éloignés pour laquelle on met au point. Si l'observateur est myope, je préfère lui faire garder ses lunettes. En amenant l'image au foyer des lentilles, on a deux avantages : d'abord les mouvements de la tête devant les verres n'empêchent pas l'image de présenter l'aspect d'un objet infiniment éloigné ; en second lieu, la coïncidence des images ne se fait pas moins lorsque l'observateur ne se met pas bien en face. Aussi, surtout quand le stéréoscope est monté sur un pied immobile, la personne qui s'approche pour y regarder obtient, en ce qui concerne les formes, absolument la même impression optique qu'en présence des objets véritables. — J'emploie ensuite les vis C_0 et C_1 pour corriger la position des images optiques. En faisant converger un peu mes yeux, j'obtiens des images doubles d'un point saillant de l'objet, et si ces deux images présentent une différence de hauteur, je corrige ce défaut par la vis C_0. On peut alors vérifier d'une manière encore plus exacte si les images sont au foyer ; il suffit d'incliner latéralement la tête, ce qui ne doit pas faire apparaître d'image doubles situées l'une au-dessus de l'autre. Pour produire approximativement la convergence convenable, je m'éloigne un peu, et je regarde par-dessus le stéréoscope des objets réels dont je compare la distance avec la distance apparente des objets vus dans le stéréoscope. La correction nécessaire s'obtient facilement alors à l'aide de la vis C_1.

Lorsque cet instrument est convenablement disposé, les objets n'y paraissent pas seulement bien plus grands et bien plus éloignés, mais aussi bien plus naturels qu'avec les instruments ordinaires, qui exigent presque toujours une convergence trop forte, et donnent, par suite, aux objets, une apparence de bas-reliefs. Il présente encore cet avantage très-essentiel d'éviter la fatigue et la douleur que les autres stéréoscopes provoquent si facilement dans les yeux.

Outre le *stéréoscope à réflexion* de Wheatstone, le *stéréoscope à lentilles* de Brewster avec ses différentes modifications, le *pseudoscope* qui peut également servir à faire coïncider deux dessins, on peut encore produire des effets stéréoscopiques au moyen d'un dessin unique et d'un prisme (1). — En effet, lorsque le dessin représente un objet symétrique par rapport au plan médian de l'observateur, tel qu'on le voit avec l'œil droit, l'aspect qu'il présente à l'œil gauche est symétrique avec ce dessin, ou se confond avec son image réfléchie. On peut donc remplacer le second dessin par l'image réfléchie du premier, en regardant, avec l'œil gauche à travers un prisme rectangulaire de verre, parallèlement à l'hypoténuse de ce prisme ; nous avons déjà vu que, dans ce cas, l'observateur reçoit une image réfléchie de l'objet, formée par réflexion totale sur l'hypoténuse. L'œil droit regarde en même temps directement vers le dessin. Si l'on amène les

(1) Dove, in *Pogg. Ann.*, LXXXIII, 183. — *Berliner Monatsberichte*, 1850, p. 152. — Brewster, in *Phil. Mag.*, 4, III, 16-26. — *Report of Brit. Assoc.*, 1849, 2, p. 5.

images des deux yeux à coïncider, on voit apparaître le relief. Le relief se renverse si l'on met le prisme devant l'œil droit. Ce procédé permet souvent de faire produire un effet stéréoscopique à des dessins qui n'y sont pas destinés, tels que des portraits photographiques qui ont été pris à peu près, mais non complétement de face.

Dove (1) a obtenu des effets stéréoscopiques analogues en regardant simultanément un dessin convenable avec une lunette astronomique et une lunette de Galilée de même grossissement. La première renverse le dessin, la seconde ne le renverse pas. On peut employer ici les mêmes dessins que pour le stéréoscope ordinaire, seulement il faut aussi que la moitié supérieure de l'objet représenté soit symétrique avec la moitié inférieure.

J'ai décrit plus haut le *téléstéréoscope* simple, sans grossissement. J'ai fait construire, avec deux lunettes, un instrument analogue, qui permet de voir les objets éloignés en relief. — La partie optique de l'instrument est représentée pl. IV, fig. 3. La lumière venant des objets est d'abord reçue par les deux miroirs plans aa et a_1a_1. Mais ces miroirs doivent être faits avec le plus grand soin pour qu'après le grossissement les images ne soient pas déformées. Chacun de ces miroirs peut être rapproché de l'une des plaques k et k' par trois vis auxquelles résistent des ressorts. Cette disposition permet de modifier la position des miroirs jusqu'à coïncidence des deux images. Les lentilles objectives des lunettes sont en c et c'. Elles sont contenues dans des tubes qui, à l'aide des pignons i et i' et des crémaillères h et h', peuvent être avancés ou reculés pour régler la distance focale de la lunette. En d et en e sont placées deux lentilles oculaires d'une lunette terrestre. La lumière pénètre alors dans le prisme b qui la renvoie à angle droit dans le dernier verre g de l'oculaire. Une vis, qui s'engage dans le bloc métallique p placé derrière le prisme b, sert à déplacer ce prisme de manière à mettre d'accord les axes optiques des deux parties de la lunette. Enfin le pignon denté m sert à modifier la distance respective des deux lunettes tout entières, de manière à l'adapter à la distance des yeux de l'observateur.

Comme la distance des miroirs est de 1080^{mm}, elle est 16 fois plus grande que celle des yeux, et, par conséquent, les différences stéréoscopiques deviennent 16 fois plus grandes que sans instrument. Mais comme le grossissement est également de 16 fois, l'effet est le même que si l'on voyait l'objet sans instrument, à une distance 16 fois plus petite.

D'après une remarque d'Oppel (2), on obtient un effet inverse de celui du stéréoscope si l'on regarde, avec des lignes visuelles parallèles, deux corps pareils séparés par un intervalle égal à celui des deux yeux et placés d'une manière identique.

Microscope stéréoscopique. — Cet instrument est représenté par la figure 199, d'après le dernier modèle de Nachet. — Le système des lentilles objectives est en a. Le faisceau lumineux rencontre d'abord le petit prisme réflecteur de verre b;

(1) *Pogg. Ann.*, LXXX, 446. — *Berliner Monatsberichte*, 1850, p. 152.
(2) *Jahresbericht des Frankfurter Vereins*, 1858-59, p. 64-75.

la moitié du faisceau continue son trajet sans pénétrer dans ce prisme, traverse le tube E, et arrive à l'œil de l'observateur par l'oculaire e. L'autre moitié pénètre dans le prisme b, qui est à peu près rectangulaire, est réfléchie par l'hypoténuse et envoyée au second prisme c, où elle subit une seconde réflexion, puis elle traverse le tube F et arrive à l'autre œil de l'observateur par l'oculaire f. La vis g permet de rapprocher ou d'éloigner du tube E le tube F avec le prisme c, afin d'adapter l'instrument à l'écartement des yeux de l'observateur. Comme les faisceaux lumineux qui émergent des oculaires e et f sont très-étroits, il faut que leur distance soit exactement égale à celle des pupilles pour qu'il se forme une image dans chaque œil. Dans les instruments anglais du même genre, les deux tubes sont invariablement liés l'un à l'autre, et on les adapte à l'écartement des yeux de l'observateur en sortant ou enfonçant plus ou moins les lentilles oculaires.

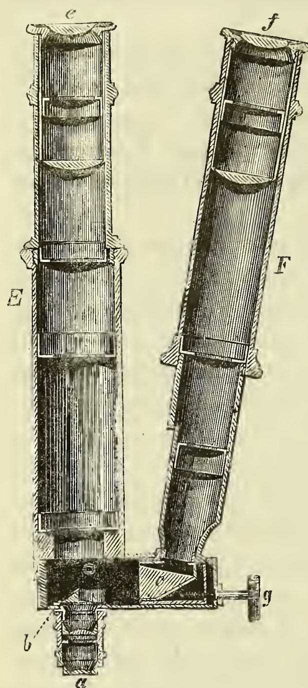


Fig. 199.

L'effet stéréoscopique de ces instruments est très-saisissant et facilite considérablement l'observation des objets de forme compliquée. La production du relief tient ici à une cause tout autre que dans les autres instruments stéréoscopiques. En effet, nous n'avons pas deux images de l'objet prises de points de vue différents, puisque l'objectif unique du microscope fournit les deux images et que l'instrument ne fait que diviser la lumière de manière à en envoyer la moitié à chaque œil. L'effet stéréoscopique ne se produit ici que parce que les points situés dans le plan focal du microscope sont les seuls dont l'image se forme en un point unique ; les autres points, qui sont situés en avant ou en arrière du plan focal, donnent de petits cercles de diffusion et la division du faisceau lumineux a pour effet d'envoyer à chaque œil la moitié de chaque cercle de diffusion. Or, comme les deux moitiés du cercle de diffusion ne sont pas situées à la même place, il en résulte un effet stéréoscopique.

Les règles indiquées pages 76 à 81 permettent de trouver facilement les points principaux et les foyers de tout le système optique d'un microscope. Le premier point principal est au-dessous de l'objectif; le premier foyer est également au-dessous, mais un peu plus rapproché de l'objectif. Le second point principal et le second foyer sont au-dessus de l'oculaire; le foyer est également plus près de l'oculaire que le point principal. Nous pouvons supposer l'œil de l'observateur placé au second foyer et désigner par p la distance focale du système total. Soient respectivement f et φ les distances de l'objet au premier foyer, comptée de bas en

haut, et celle de l'image au second foyer, mesurée de haut en bas, nous avons, d'après l'équation 7b) de la page 69,

$$\varphi = \frac{p^2}{f}.$$

Désignant par b la grandeur de l'objet et par β celle de l'image, on a

$$\frac{\beta}{b} = \frac{p - \varphi}{f - p} = \frac{p}{f} = \frac{\varphi}{p}.$$

Supposons maintenant que l'œil soit accommodé pour l'image β, et qu'il y ait, en avant ou en arrière de l'objet b, un second objet b', que la transparence du premier permet de voir en même temps, et dont la distance au foyer soit f'; la distance de son image à l'œil et au second foyer est

$$\varphi' = \frac{p^2}{f'},$$

d'où résulte

$$\varphi' - \varphi = p^2 \cdot \frac{f - f'}{ff'}.$$

Soient a l'angle sous lequel les rayons de l'image b arrivent à l'objectif, α l'angle de divergence correspondant des rayons de l'image β, d'après les équations 7d) de la page 70, et 9) de la page 75, on a

$$b \text{ tang } a = \beta \text{ tang } \alpha,$$

ou bien

$$\text{tang } \alpha = \frac{f}{p} \text{ tang } a.$$

De même, pour les images b' et β' et pour les angles de divergence correspondants a' et α', on a

$$\text{tang } \alpha' = \frac{f'}{p} \text{ tang } a'.$$

Comme on le voit facilement, le rayon ρ du cercle de diffusion dans le plan de l'image β, pour laquelle l'œil est accommodé, est

$$\rho = (\varphi' - \varphi) \text{ tang } \alpha' = \frac{p}{f} (f - f') \text{ tang } a'.$$

Comme on ne peut observer que des objets dont les cercles de diffusion sont très-petits, et que, par conséquent, $\varphi' - \varphi$ et $f' - f$ sont des quantités très-petites, on peut négliger les variations que subit l'angle a' en passant d'un objet à l'autre; en le considérant comme égal à l'angle a, on peut donc écrire la dernière équation de la manière

$$\rho = \frac{p \text{ tang } a}{f} \cdot (f - f').$$

Or le microscope binoculaire envoie une moitié de ce cercle de diffusion à l'œil

droit, et l'autre moitié à l'œil gauche. Il en résulte que toute ligne de l'image, qui est perpendiculaire au plan de visée, qu'elle soit isolée ou qu'elle fasse partie d'une surface uniformément colorée, se convertit en une bande de largeur ρ, de sorte que l'élargissement de l'une des images se fait vers la droite et celui de l'autre vers la gauche. Deux bandes de ce genre ont donc, dans les deux images, une parallaxe stéréoscopique égale à ρ, comparativement aux autres points du plan focal.

Si f' est moindre que f, c'est-à-dire si l'objet est plus éloigné de l'objectif que les points pour l'image desquels l'œil est accommodé, φ' est plus grand que φ, c'est-à-dire que l'image de b' est située au-dessous de celle de b et les rayons de l'image b' se croisent avant d'arriver dans le plan de b. Alors la moitié droite du cercle de diffusion arrive à l'œil droit de l'observateur et la moitié gauche à l'œil gauche ; la parallaxe stéréoscopique est par conséquent négative par rapport à celle de l'image b, et b' apparaît en arrière de b, conformément à la réalité. Ainsi chaque moitié du cercle de diffusion arrive, par double réflexion, dans l'œil correspondant de l'observateur, et, par suite, ne paraît pas renversée de droite à gauche, mais dans sa position naturelle.

Lorsque b' est au-dessus de b, le résultat est inverse.

Dans les instruments de Nachet, on peut faire glisser la boîte qui contient les prismes, de manière à amener le petit prisme b (fig. 199) devant l'autre moitié (droite) de l'ouverture, et l'on obtient alors un effet pseudoscopique ; ce qui est en bas paraît se trouver en haut.

L'*ophthalmoscope binoculaire* de Giraud-Teulon, dont la figure 200 représente le modèle construit par Nachet, agit de la même façon. — A est un miroir concave

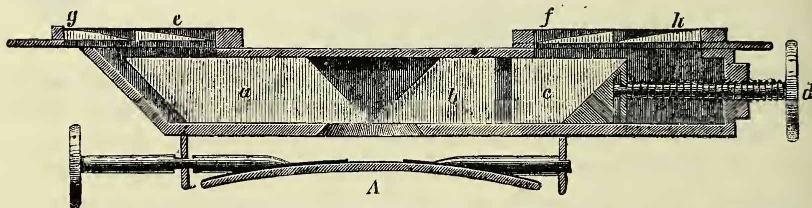


FIG. 200.

de verre dont le milieu est privé de tain. Les deux faces du miroir ont la même courbure, de sorte que les rayons le traversent sans réfraction. Il sert à éclairer l'œil qu'on veut observer. Entre ce miroir et cet œil, on tient une lentille convexe dont on observe l'image réelle et renversée, comme dans l'expérience représentée schématiquement par la figure 94 (p. 242). La lumière émise par l'œil observé se divise derrière l'ouverture, en tombant sur les deux prismes réfléchissants a et b. La section du prisme a est un parallélogramme ; deux de ses angles sont de 45°. Les prismes b et c réunis forment un prisme semblable à a, mais divisé transversalement pour permettre à la vis d d'en rapprocher ou écarter les deux parties b et c. C'est par ce moyen qu'on adapte l'instrument à la distance des yeux de l'observateur. Les rayons qui, à travers l'ouverture centrale, tombent d'abord perpendiculairement sur la face antérieure du prisme a, sont renvoyés par le petit côté

du parallélogramme au second petit côté, qui les réfléchit à son tour vers l'ouverture e, à travers laquelle ils arrivent à l'un des yeux de l'observateur. La seconde moitié des rayons qui pénètrent dans le prisme b est réfléchie de même deux fois, pour arriver à l'autre œil de l'observateur à travers l'ouverture h. Les ouvertures e et f contiennent des prismes faiblement réfringents, afin que l'observateur puisse regarder l'image commune avec une faible convergence des lignes de regard. Ces prismes sont portés par de petits tiroirs qui offrent, de plus, une seconde paire de prismes à faces convexes, destinés à grossir l'image lorsqu'on le désire.

Ainsi qu'on l'a vu pages 243 à 245, la position la plus avantageuse de la lentille convexe est celle où cette lentille projette, sur l'ouverture du miroir, une image de la pupille de l'œil observé. Dans ces conditions, la lumière provenant de la moitié droite de la pupille arrive au prisme a, qui est situé à gauche, et celle qui vient de la moitié gauche arrive au prisme b, qui est à droite. L'œil droit de l'observateur voit donc le fond de l'œil observé tel qu'il se présente à partir de la moitié gauche de la pupille, et l'œil gauche, tel qu'on le voit à partir de sa moitié droite. Comme, d'autre part, l'image est renversée, l'effet est véritablement stéréoscopique ; le relief est très-visible et très-utile pour l'observation médicale du fond de l'œil.

Enfin je vais encore mentionner ici un procédé de stéréoscopie tout particulier, dû à Rollmann (1). — Il dessine les deux projections sur le même tableau noir, l'une avec des lignes rouges et l'autre avec des lignes bleues. Il met alors devant un œil un verre rouge, devant l'autre un verre bleu ; chaque œil ne voit alors que les lignes de même couleur que le verre qui lui est superposé, et les deux dessins se combinent alors sous forme de relief. En distribuant des verres de couleur, ce procédé permet de montrer les effets stéréoscopiques à un nombreux auditoire. M. J. C. d'Almeida projette sur un écran les images nécessaires pour cette expérience à l'aide de deux lentilles, devant l'une desquelles se trouve un verre rouge, devant l'autre un vert. Un autre procédé, dû également à d'Almeida, consiste à projeter les images sur l'écran comme précédemment, mais sans altérer leur couleur ; on rend intermittente, mais à de très-courts intervalles, la production de chacune d'elles ; et l'on interdit la vue de l'écran, tantôt à l'un, tantôt à l'autre œil, au moment où se produit l'image qu'il ne doit pas voir. Dans ces conditions, on aperçoit tous les effets du relief.

On peut, du reste, employer les appareils dioptriques ou catoptriques les plus divers pour produire les déplacements des images qui sont nécessaires aux effets stéréoscopiques ; tantôt on déplace les deux images, tantôt une seule. L'appareil primitif de Wheatstone avait deux miroirs plans ; Brewster (2) en a décrit un analogue avec deux miroirs, un autre avec un seul miroir, et ce dernier pour observer deux dessins ou un seul. Au lieu de miroirs, on peut encore, suivant la proposition de Dove (3) et de Brewster, se servir d'un ou de deux prismes à ré-

---

(1) *Pogg. Ann.*, XC, 186-187.
(2) *Phil. Mag.*, 4, III, 16-26.
(3) *Pogg. Ann.*, LXXXVIII, 183.

flexion totale ; dans le second cas, on peut en mettre un devant chaque œil, ou les combiner devant un seul œil, sous forme de *prisme de réversion*. On peut, de même, se servir d'un seul prisme plan, faiblement réfringent, pour amener l'une des images à coïncider avec l'autre. E. Wilde (1) employait, pour le même effet, le prisme à double réflexion d'une chambre claire.

Pour produire une combinaison d'images stéréoscopiques sans déviation des rayons lumineux, Brewster propose de tenir à une distance convenable, au-devant de ces images, une lame de verre sur laquelle on marque un point noir destiné à définir la fixation. M. Faye (2) emploie un écran percé de deux ouvertures qui ne laissent voir à chaque œil que le dessin qui lui est destiné. M. Elliot (3) prend deux tubes croisés, à travers lesquels l'œil droit voit l'image gauche, et inversement. Il faut remarquer qu'à cause de la difficulté qu'on éprouve à produire l'accommodation convenable, les observateurs hypermétropes fusionnent plus facilement en croisant les lignes visuelles, et les myopes, les mettant en parallélisme.

J. Duboscq (4) a fixé, dans les tubes d'une jumelle de théâtre, des lentilles prismatiques à travers lesquelles on regardait les dessins conjugués, suspendus au mur ; on peut ainsi, en se rapprochant et en s'éloignant, modifier la convergence des axes oculaires, ce qui augmente ou diminue le relief. — Pour combiner des images de grandeurs quelconques, il place, dans son stéréoscope panoramique, les images l'une au-dessus de l'autre et en face de deux miroirs mobiles autour d'un axe horizontal et placés l'un à côté de l'autre. L'observateur, placé entre les images, ou au-dessous d'elles, regarde vers les miroirs qui sont disposés de manière que les parties correspondantes des images coïncident entre elles. Les images peuvent avoir une étendue quelconque et défiler devant les yeux de l'observateur. M. Duboscq (5) a décrit plus tard, pour la combinaison des grandes images, une autre forme de stéréoscope plus analogue à celui de Brewster, avec des prismes plans et achromatiques indépendants des lentilles, ces deux verres étant mobiles pour permettre de corriger la position des images.

Dans le stéréoscope panoramique, on peut remplacer les images par deux disques stroboscopiques, ce qui permet de voir des figures mobiles présenter l'effet du relief. Cette disposition donne le *stéréophantascope* ou *bioscope*. — M. Czermak (6) a décrit, sous le nom de *stéréophoroscope*, un instrument qui donne le même résultat. Il se servit, à cet effet, du stéréoscope ordinaire, pour lequel on colle les deux images côte à côte sur une même bande de carton : ces bandes de carton sont fixées sur les faces d'un prisme polyédrique de bois, mobile autour de son axe, qu'on place horizontalement. Le prisme est entouré, à quelques pouces des images, d'un cylindre de carton présentant les ouvertures nécessaires

(1) *Pogg. Ann.*, LXXXV, 63-67.
(2) *Comptes rendus*, XLIII, 673-674. — *Pogg. Ann.*, XCIX, 641-642.
(3) *Phil. Mag.*, 4, XIII, 78.
(4) *Cosmos*, I, 97-104 ; 703-705.
(5) *Comptes rendus*, XLIV, 148-150.
(6) *Wiener Berichte*, XV, 463-466. — Shaw, Stereotrope (instrument analogue à celui de Czermak), in *Proc. Roy. Soc.*, XI, 70-73.

pour voir le dessin dans les moments convenables. En dehors de ce cylindre est fixé le système prismatique d'un stéréoscope de Brewster; l'observateur regarde les images à travers ces prismes et à travers les fentes qui passent devant ses yeux. — Enfin Javal propose, pour obtenir le même effet d'une manière moins dispendieuse, de disposer les fentes d'un phénakisticope ordinaire de manière à démasquer alternativement les deux yeux et d'y adapter des photographies destinées alternativement à chaque œil, lesquelles donneraient le relief comme dans l'expérience précitée de d'Almeida (p. 865).

M. C. Clarke (1) a pourvu le stéréoscope de Brewster d'un pied. — M. Kilbarn (2) en a fait un modèle pouvant se mettre dans la poche. — Smith et Beck (3) lui ont donné un pied, un appui plus solide pour les images, un éclairage plus intense de tous les côtés et des lentilles achromatiques. — Samuel (4) a adapté une disposition permettant la mise au point pour les différentes vues. — — Schirtz (de Paris) construit, sous le nom de stéréoscope américain, un instrument qui contient un grand nombre de vues portées par une sorte de chaîne sans fin, et où les prismes sont remplacés par des lentilles achromatiques légèrement décentrées.

Le *stéréomonoscope* de Claudet (5) se fonde sur un fait singulier. — Claudet remarqua que les images d'une *chambre obscure*, reçues sur une lame de verre dépolie et observées binoculairement, offrent un certain relief stéréoscopique. L'explication de ce phénomène, c'est que chaque œil voit le mieux, sur la lame de verre, ceux des rayons qui y arrivent suivant la direction de sa ligne visuelle. C'est d'après cette observation que Claudet construisit son stéréomonoscope, qui, à l'aide de deux lentilles, projette les deux images stéréoscopiques d'un objet au même endroit d'une lame de verre dépolie. Si l'on regarde la lame de verre avec les deux yeux, chaque œil ne voit que l'image qui lui est destinée, ce qui produit le relief.

Afin de pouvoir modifier la position des images pour examiner l'effet optique qui résulte de semblables déplacements, Wheatstone (6) a rendu mobiles sur des patins les planchettes qui portent les dessins dans son stéréoscope à miroir qui a été décrit plus haut ; en outre, les deux branche du stéréoscope sont mobiles autour d'une charnière située à l'intersection des deux miroirs, de manière à pouvoir modifier l'angle de convergence des yeux. M. Hardie (7), pour obtenir des reliefs pseudoscopiques, a construit dans un but analogue, avec deux paires de miroirs, un instrument analogue à mon téléstéréoscope, qui est de date plus récente. Cet instrument permet de présenter les images dans une position tantôt droite, tantôt renversée, d'exagérer, d'affaiblir ou de renverser le relief. Dans le même but,

---

(1) *Cosmos*, III, 123.
(2) *Cosmos*, III, 770.
(3) *Athenæum*, 1858, II, 269-270. — *London Journ. of Arts*, June 1860.
(4) *Rep. of Brit. Assoc.*, 1858, 2, p. 19.
(5) *Proc. Royal. Soc.*, IX, 194-196.
(6) *Phil. Transact.*, 1852, p. 1-17.
(7) *Phil. Magaz.*, 4, V, 442-446.

H. Meyer (1) a rendu mobiles dans leur plan les images du stéréoscope à réflexion et y a ajouté une échelle pour mesurer le déplacement. Cependant la disposition proposée par Wheatstone, où les images se déplacent suivant une circonférence, en restant toujours à la même distance des yeux, présente cet avantage que les déplacements latéraux des dessins ne modifient en rien leurs images rétiniennes ; tandis que la disposition indiquée par Meyer exige le calcul de petites corrections parce que le déplacement des images dans leur plan fait varier la distance qui les sépare des yeux.

Rollet (2) a produit des modifications analogues de la convergence lors de l'observation des objets réels, en plaçant obliquement devant chaque œil une épaisse lame de verre à faces planes parallèles. La convergence des lignes de regard augmente ou diminue suivant que les faces antérieures de ces lames sont tournées du côté temporal ou du côté nasal de l'œil correspondant. Les phénomènes observés répondaient aux expériences de Wheatstone.

Les *images stéréoscopiques* ont été obtenues soit par la construction perspective des dessins et reproduites par la lithographie ou la gravure (3), soit aussi par la photographie. — Parmi les premières, les dessins géométriques au simple trait, représentant des objets réguliers et des modèles de cristaux, sont les seuls qui produisent un bon effet. Ils présentent en même temps les exemples les plus évidents de l'effet stéréoscopique, puisque l'illusion n'est corroborée par aucune circonstance favorable d'éclairage ou d'ombre. Mais leur construction exige une exactitude extrême, car les moindres défauts peuvent entraîner des modifications très-sensibles du relief et des déformations des objets. Par ce moyen, on peut donner une idée très-nette de la forme des corps géométriques les plus compliqués. Comme, du reste, les dessins de ce genre sont assez répandus dans le commerce, je crois inutile d'en donner ici des spécimens. Les essais qu'on a fait jusqu'ici pour ombrer de semblables dessins lithographiques ont assez mal réussi, parce qu'on ne parvient pas à faire concorder suffisamment, dans les deux dessins, les différentes dégradations d'ombre et de lumière. L'appareil de Rood, destiné à faciliter la construction de ces dessins, a déjà été mentionné plus haut (page 844).

Les photographies stéréoscopiques donnent un résultat bien plus parfait. Les premières ont été faites par le professeur Moser, à Königsberg; leur fabrication alimente déjà une branche importante de l'industrie : chacun connaît les collections de paysages, d'édifices de toutes les parties du monde, de statues, d'animaux, de fleurs, etc., qui se rencontrent dans le commerce. Dans les commencements, on prenait successivement, avec le même appareil photographique, deux vues successives du même objet. Mais, outre la difficulté d'obtenir des épreuves de même intensité, ce procédé présentait l'inconvénient que, par un fort éclairage solaire, les ombres portées changeaient de place entre les deux opérations et produisaient alors un faux effet sur l'image. Ces ombres présentent parfois alors l'aspect

(1) *Poggendorf's Annalen*, LXXXV, 198-207.
(2) *Wiener Sitzungsber.*, XLII, 488-502.
(3) M. Hessemer a publié de très-bons dessins de ce genre, et il a traité des règles de leur construction, in *Dingler's polytechn. Journal*, LXXXIX, 111-121.

d'écrans sombres qui seraient suspendus dans l'espace. J'ai observé un effet de ce genre sur une vue de Paris, où l'on pouvait constater, par la position des aiguilles sur l'horloge d'un clocher, qu'il ne s'était passé que cinq minutes entre la confection des deux épreuves. Aussi, d'après la proposition de Brewster (1), se sert-on généralement aujourd'hui de chambres noires jumelles, qui fonctionnent simultanément sur deux parties différentes de la même plaque. Les centres des deux objectifs ont la même distance que les yeux de l'homme, ou une distance un peu plus grande, de 70 à 75^{mm} ; la chambre noire elle-même présente donc l'aspect d'un stéréoscope renversé. Ces instruments sont très-convenables pour photographier des objets voisins, et reproduisent ce que verrait un observateur immobile, en se mettant à la place de l'appareil. Ils présentent surtout cet avantage que, par un beau soleil, l'exposition instantanée de la plaque peut donner de bonnes images d'objets mobiles, d'hommes, d'animaux, de vaisseaux, et même des images magnifiques des vagues d'une eau agitée. Mais ils ne suffisent pas pour des paysages qui présentent des lointains, parce que la distance des points de vue est trop petite pour donner des différences suffisantes; aussi les parties éloignées du paysage paraissent-elles ordinairement tout à fait planes (2). Pour des cas de ce genre, il vaut mieux obtenir une sorte d'effet téléstéréoscopique, en prenant deux épreuves à partir de deux points éloignés. C'est ainsi que, parmi les excellentes photographies de paysages de Braun (de Dornach), j'ai trouvé des vues du Wetterhorn, prises de deux points différents de Grindelwald, deux autres vues de la même montagne prises de deux points différents du Bachalp, de même deux vues de la Jungfrau prises de Mürren; on obtient un modelé excellent de la forme montagneuse, si l'on sépare les images de chaque paire et qu'on les associe deux à deux de manière à obtenir la combinaison d'épreuves prises à partir de points assez éloignés. Au lieu de reconnaître la forme des montagnes aussi mal qu'un observateur immobile, on la distingue alors bien mieux, comme un observateur qui se déplacerait et comparerait les aspects successifs que la montagne lui aurait présentés.

Babo (3) a fait d'excellentes reproductions stéréoscopiques d'objets microscopiques. Pour prendre l'épreuve, on fait différer, pour les deux épreuves, l'inclinaison de la platine sur l'axe du microscope; on obtient ainsi la parallaxe stéréoscopique.

M. J. G. Halske a obtenu des images mobiles. Son premier essai représentait un cône tronqué dont la petite section pouvait recevoir un mouvement horizontal sur les deux images. La plus jolie de ses expériences s'obtenait au moyen d'un disque noir circulaire et horizontal, d'environ trois pouces de diamètre, qui tournait très-facilement autour de son axe, et qui, une fois lancé, conservait assez longtemps son mouvement. Sur ce disque, dans une position légèrement excentrique, on plaçait un petit disque circulaire blanc (un pain à cacheter), et on le regardait librement avec un œil, et avec l'autre, à travers un prisme rectangulaire à réflexion

(1) *Phil. Mag.*, 1852, 4, III, 26-30. — *Rep. of Brit. Assoc.*, 1849, 2, p. 5.
(2) CLAUDET, in *Cosmos*, IV, 65-67, 147 (sur le choix de l'angle). — SUTTON, Même sujet, in *Cosmos*, IX, 313-319.
(3) *Bericht der Freiburger Ges.*, II, 312-314.

totale, convenablement fixé. Lorsque, dans la rotation, le petit cercle se trouvait à droite du centre, l'œil libre le voyait à droite et l'autre le voyait à gauche, à cause de la réflexion produite par le prisme ; le renversement de la parallaxe stéréoscopique qui se produisait ainsi à chaque tour faisait que le petit disque paraissait tantôt monter, tantôt s'enfoncer dans l'épaisseur du grand.

Les premières opinions qui furent émises sur la perception de la troisième dimension se rattachèrent à la question des différences de grandeur apparente de la lune. PTOLÉMÉE (150 ap. J. C.) dit déjà que l'âme juge de la grandeur des objets d'après une appréciation préalable de leur distance ; cette distance paraîtrait plus considérable lorsqu'il y a beaucoup d'objets entre l'œil et la chose observée, comme cela a lieu lorsque les corps célestes sont voisins de l'horizon (1). Cependant, à un autre endroit, il attribue le grossissement à la réfraction des rayons par les vapeurs (2). ALHAZEN (3) (au xe siècle) réfute cette dernière opinion et revient à la première. Il est suivi par ROGER BACON et combattu par PORTA (4). VITELLION (5) (1270) se range à l'avis d'ALHAZEN, et fait, de plus, remarquer qu'en somme, la voûte céleste paraît plus éloignée à l'horizon qu'au zénith. KEPPLER (6), dont DESCARTES adopta l'opinion, quant au point essentiel (7), dit déjà, au sujet de l'appréciation des distances, que la distance des deux yeux est la base dont nous nous servons pour mesurer la distance des objets. Et comme, en faisant ces mensurations avec les deux yeux, on apprend à les faire avec un seul œil, la largeur de l'étoile dans l'œil servirait de base pour des distances relativement faibles. Il fait remarquer, de plus, qu'on peut aussi, avec un seul œil, apprécier les différents degrés de la lumière, et comparer, par suite de la pratique, la grandeur d'un objet avec sa distance, puisqu'on sait par expérience de combien il faut étendre la main ou se rapprocher de l'objet pour l'atteindre. Il connaissait donc déjà les éléments principaux de cette appréciation, autres que la différence des images.

Cependant GASSENDI (8) prétendit encore, au sujet de la lune, qu'elle paraît plus grande près de l'horizon, parce que la pupille se dilate alors à cause du peu d'intensité de la lumière. HOBBES (9) revint à l'explication des anciens, et considéra la forme apparente de la voûte céleste comme étant une calotte sphérique. Au contraire, le père GOUYE (10), MOLYNEUX (11) et SAMUEL DUNN (12) firent remarquer que lors même qu'il n'y a pas d'objets interposés entre l'œil et la lune, l'illusion subsiste (ou du moins peut subsister). DÉSAGULIERS (13) disposa des expériences dans lesquelles les assistants, trompés dans l'appréciation de la distance, étaient, par suite, induits en erreur pour celle de la grandeur. BERKELEY (14) insista sur l'aspect trouble et pâle de la lune à l'horizon, circonstances qui exercent assurément une influence très-sensible. SMITH (15) rechercha également l'influence de la forme apparente de la voûte céleste ; il fit une série d'appréciations sur des distances égales en apparence, qui étaient tantôt plus rapprochées du zénith, tantôt de l'horizon, et il trouva que la distance de l'horizon paraît de trois à

---

(1) MONTUCLA, Hist. des Mathém., I, 309. — ROGERI BACONIS Perspect., p. 118. — PRIESTLEY, Geschichte der Optik, übersetzt von KLÜGEL, p. 11-12. — GREGORY, Geometria, pars univers., p. 141. — MALEBRANCHE, Recherche de la vérité, part. I. — HUYGENS, in SMITH'S Opticks, Art. 586. — LOGAN, in *Phil. Trans.*, XXXIX, 404.

(2) Almageste, liv. III, c. 3. — STRABO, in Geogr., I, 3.

(3) ALHAZEN, liv. VII, p. 53-54.

(4) De refractione, p. 24, 128.

(5) Optica. Basil., 1572, editio RISNERI, p. 412.

(6) Paralipomena, 1604, p. 62-66.

(7) Dioptr., p. 68. — De homine, p. 66-71.

(8) GASSENDI, Opera, II, p. 325.

(9) *Robin's Tracts*, II, 241-244.

(10) *Mém. de l'Acad. de Paris*, 1700, p. 11.

(11) *Philos. Transact.*, I, 221.

(12) *Philos. Transact.*, LII, 462.

(13) *Philos. Transact.*, VIII, 130.

(14) Essay towards a new theory of vision. Dublin, 1709, p. 30. — *Robin's Mathemat. Tracts*, II, 242.

(15) Optik, deutsche Ausg., 418.

quatre fois plus grande que celle du zénith. LAMBERT (1) compara la coupe de la voûte céleste à une conque. Il en résulte également une altération de la forme et de la largeur de l'arc-en-ciel : il paraît prendre la forme d'une ellipse aplatie, plus étroite au milieu qu'aux extrémités ; les auréoles du soleil, les distances des étoiles, subissent des modifications apparentes analogues. SMITH a encore indiqué la jolie expérience que voici. Si l'on place, au foyer d'une lentille convexe, un petit pain à cacheter circulaire, l'image de ce petit cercle, vue à travers la lentille, se présente toujours sous le même angle visuel, quelle que soit la distance à laquelle se place l'observateur, tant que la lentille n'en cache pas les bords. Mais la grandeur apparente de l'image augmente considérablement lorsque l'observateur s'éloigne, parce qu'on ne la suppose pas à une distance infinie, mais derrière la lentille.

SMITH, dans sa polémique contre l'explication de BERKELEY par la perspective aérienne, est cependant obligé de convenir que la lune paraît tantôt plus grande, tantôt plus petite à l'horizon. EULER (2) est également de l'avis de BERKELEY.

MALEBRANCHE et BOUGUER (3) ont également insisté contre VARIGNON (4) sur l'influence que la distance apparente exerce sur l'évaluation de la grandeur absolue. Quant aux moyens d'apprécier la distance, DE LA HIRE (5) et PORTERFIELD (6) se sont également prononcés d'une manière conforme aux opinions mentionnées jusqu'ici.

Le renversement du relief a été également remarqué depuis longtemps. Ce fut à l'occasion des images renversées des microscopes ou des télescopes qu'il fut d'abord observé par JABLOT (7) et G. P. GMELIN (8) ; il fut attribué par RITTENHOUSE (9) au renversement de l'éclairage. MUNCKE (10) fit observer, par contre, que le relief peut également paraître renversé à travers une simple loupe. ABAT ajouta cette jolie observation que si l'on regarde l'image, renversée par un miroir concave, d'une bouteille à moitié remplie d'eau, la partie vide paraît remplie, et inversement, parce qu'on suppose toujours le liquide situé au-dessous de la surface de séparation. Les recherches et opinions plus récentes sur le renversement du relief ont déjà été mentionnées plus haut.

EUCLIDE, GALIEN, PORTA, AGUILONIUS (11), savaient déjà que les images produites par un objet dans les yeux sont différentes, fait qui leur parut présenter des difficultés. LÉONARD DE VINCI (12) fit déjà remarquer que la vision binoculaire des corps produit une différence qui ne peut être imitée par aucune peinture. SMITH (13) regarda, avec des lignes visuelles parallèles, les deux branches d'un compas ouvert avec un écartement égal à celui des deux yeux, et vit subitement les deux branches se réunir en une seule qui paraissait s'étendre très-loin. C'était là une perception stéréoscopique. WELLS (14) a fait des expériences analogues avec des règles et des fils.

Il fallut l'ingénieuse invention du stéréoscope par WHEATSTONE pour montrer combien la différence des images dans les deux yeux contribue à faire distinguer le relief des corps. La première publication de WHEATSTONE date de 1833 (15) ; la description complète et la théorie des phénomènes parut en 1838 (16). Suivant BREWSTER (17), un mathématicien, J. ELLIOTT, aurait fait la même invention à Edinburgh en 1834 et l'aurait publiée en 1839. Un troisième

---

(1) Beiträge, I, § 60-78.
(2) Briefe an eine deutsche Prinzessin, p. 317.
(3) *Mém. de l'Académie,* 1755, pp. 99, 156.
(4) *Mém. de l'Académie*, 1717.
(5) *Mém. de Paris*, 1694.
(6) Treatise on the eye, 1759.
(7) Description de plusieurs nouveaux microscopes, 1712.
(8) *Philos. Transact.*, 1747.
(9) *Transact. of the American Philos. Society*, 1786, II.
(10) GEHLER's physik. Wörterbuch, neu bearbeitet. Leipzig, 1828, IV, 1455.
(11) D. BREWSTER, The Stereoscope, its history, theory and construction. London, 1856.
(12) Trattato della pittura.
(13) System of Optics, II, 388, 526.
(14) Essay upon single vision with two eyes, 1792. — Seconde édit., 1818.
(15) In H. MAYO's Outlines of human Physiology, p. 288.
(16) *Philosophical Transactions*, 1838, P. II, 371-394.
(17) *Liverpool and Manchester Photographic Journal*, 1857, January 1, p. 4-7 ; January 15, p. 21-23.

qui prétend à cette invention est M. G. Maynard (1). M. Wheatstone peut en tout cas prétendre à la priorité, et son mémoire de 1838, qui contient la description du stéréoscope par réflexion, est rempli d'une foule d'expériences et d'observations qui exposent et démontrent avec netteté tous les points importants relatifs à ce sujet. Plus tard, en 1859, le docteur A. Brown (2) découvrit au musée Wicar, à Lille, un dessin double de Jacopo Chimenti (né en 1554, mort en 1640), représentant un homme assis sur un escabeau et tenant d'une main un compas et de l'autre un fil à plomb. Ces deux dessins, réunis stéréoscopiquement, présentent une espèce de relief. D. Brewster crut pouvoir admettre que Chimenti avait fait ce dessin pour vérifier la théorie que Porta avait publiée en 1593. Ces dessins ont été photographiés et se trouvent dans le commerce. Les deux images de l'homme sont faites, en réalité, à partir de deux points de vue différents; cependant j'avouerai qu'il ne me semble pas probable que le dessinateur les ait destinées à une expérience stéréoscopique; car l'escabeau, le compas et le fil, qu'il aurait été précisément plus facile de dessiner correctement, sont traités comme des accessoires et figurés d'une manière si irrégulière et si différente, qu'on ne peut pas les fusionner. Si le dessin avait eu pour objet de vérifier la théorie, on aurait pu s'attendre à voir exécutées régulièrement les parties faciles à dessiner et irrégulièrement celles plus difficiles, telles que le personnage. Il me paraît plus probable que le dessinateur, mécontent d'un premier dessin, en a fait un second d'un point de vue un peu différent, et par hasard sur la même feuille.

C'est D. Brewster qui a publié en 1843 la forme actuellement la plus usitée du stéréoscope à lentilles. La bibliographie qui suit donne un aperçu des découvertes plus récentes; l'histoire de la théorie de ces phénomènes trouvera sa place dans les paragraphes suivants.— Les recherches sur les erreurs de la localisation binoculaire simple n'ont été entreprises que dans ces dernières années par Recklinghausen (3), Hering (4), J. Towne et moi-même (5); ces expériences ont encore besoin d'être contrôlées et variées par d'autres observateurs.

I. — Perception du relief indépendante de la différence des deux images rétiniennes.

150. Claudius Ptolemæus, Syntaxis mathematica (Almageste), lib. III, cap. 3, et Optica.
1038. Alhazen, Opticæ Thesaurus, edit. Risneri. Basil., 1572, lib. VII, p. 53-54.
1214-94. Roger Baco, Opus majus. London, 1733, Perspective, p. 118.
1271. Vitellio, Optica, edit. Risneri. Basil., 1572, p. 412.
1583. B. Porta, De refractione, p. 24, 128.
1588-1679. Hobbes, in *Robin's Mathematical Tracts*. London, 1761, II, 241-244.
1604. Keppler, Paralipomena, p. 62-66.
1644. Descartes, Dioptrice. Amstelodami, p. 68. — De homine, p. 66-71.
1658. P. Gassendi, Opera omnia. Lugd., 1658, II, 395.
1667. J. Gregory, Geometriæ pars universalis. Venetiæ, p. 141.
1674. Malebranche, Recherche de la vérité. Paris, I.
1687. Molyneux, Why celestial objects appear greatest near the horizon, in *Phil. Trans.*, 1687, I, p. 221.
1694. De la Hire, Sur différents accidents de la vue, in *Anc. Mémoires de Paris*, IX.
1700. Th. Gouye, in *Mém. de Paris*, 1700, p. 11.
1709. Berkeley, Essay towards a new theory of vision, Dublin, p. 30. — *Robin's Mathematical Tracts*. London, 1761, II, 242.
1712. Jablot, Description de plusieurs nouveaux microscopes. (Renversement du relief.)
1717. Varignon, Lignes suivant lesquelles des arbres doivent être plantés pour être vus deux à deux aux extrémités de chaque ordonnée à ces lignes sous des angles de sinus donnés, in *Mém. de Paris*, 1717.
1728. R. Smith, Optik, deutsche Ausgabe, p. 418. — *Ibid*, Huygens, in Art. 586.

---

(1) *Toronto Royal Standard*, 1836. — *Toronto Times*, 1857, October 8.
(2) *Photographic Journal*, 1860, May 15. — *Encyclop. Britann.*, article Stereoscope.
(3) Netzhautfunctionen, in *Archiv für Ophthalmologie*, V, 147-173.
(4) Beiträge zur Physiologie. Leipzig, 1864, 4 und 5 Heft.
(5) In *Archiv für Ophthalmologie*, X, 1, p. 27-40

1736. J. Logan, Some thoughts on the sun and the moon, when near the horizon appearing larger than when near the zenith, in *Phil. Trans.*, 1736.

— J. T. Desaguliers, Attempt to explain the phenomenon of the horizontal moon appearing larger than when elevated, supported by an experiment, in *Phil. Trans.*, 1736, LII, p. 462.

1745. P. F. Gmelin, De fallaci visione per microscopia composita notata, in *Phil. Trans.*, 1745.

1755. P. Bouguer, Sur la grandeur apparente des objets, in *Mém. de Paris*, 1755.

1758. J. E. Montucla, Histoire des mathématiques. Paris, 1758, I, 309.

1759. W. Porterfield, A Treatise on the eye. Edinb., 2 vol.

1762. Sam. Dunn, An Attempt to assign the cause why the sun and moon appear to the naked eye larger, when they are near the horizon, in *Phil. Trans.*, 1762, VIII, 130.

1765. J. H. Lambert, Beiträge zum Gebrauch der Mathematik und deren Anwendung. Berlin, 1765-72, I, § 60-78.

1768. L. Euler, Lettres à une princesse d'Allemagne. Petersb., 1768-72. — Deutsch von F. Kries. Leipzig, 1792-94, p. 317.

1772. Priestley, Geschichte der Optik, deutsch von Klügel. Leipzig, 1776, II, 491-511.

1786. D. Rittenhouse, Explanation of an optical deception, in *Transact. American Philos. Society*, 1786, II. — *Edinb. Journal of science*, VI, 99.

1828. Muncke, Art.: Gesicht, in *Gehler's physik. Wörterbuch*, neu bearbeitet. Leipzig, 1828, IV, 1455.

1832. Necker (Rhomboèdre), in *Edinb. Phil. Journ.*, 1832, I, 234. — *Pogg. Ann.*, XXVII, 502.

1847. D. Brewster, On the conversion of relief by inverted vision, in *Edinb. Phil. Trans.*, XV, 657. — *Phil. Magaz.*, XXX, 432. — *Athenæum*, 1847, n° 1029, p. 773.

1848. Waller, Sur un cas où la vue altérée faisait voir les objets plus petits que nature, in *Inst.*, XVII, n° 787, p. 39.

1850. De Haldat, Mémoire sur quelques illusions d'optique, et particulièrement sur la modification des images oculaires, in *Comptes rendus*, XXXII, 357.

1853. H. Denzler, Ueber eine Sinnestäuschung psychologischen Ursprungs, in *Mitth. d. naturforsch. Ges. in Zürich*, III, 216-218.

1855. J. J. Oppel, Ueber ein Anaglyptoskop (Disposition pour donner l'apparence du relief à des empreintes creuses), in *Jahresber. d. Frankfurter Vereins*, 1854-55, p. 55-57. — *Pogg. Ann.*, XCIX, 466-469.

1856. A. Weber, Ueber die scheinbare Umkehrung des Erhabenen und Vertieften, in *Arch. für Ophthalm.*, II, 1, p. 141-146.

1858. H. Schröder, Ueber eine optische Inversion bei Betrachtung verkehrter, durch optische Vorrichtung entworfener physischer Bilder, in *Pogg. Ann.*, CV, 298-311.

1859. W. Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, in *Henle und Pfeufer's Zeitschr.*, 3, VII, 279-317 (Sur l'influence de l'accommodation sur la perception des distances).

— L. Panum, Die scheinbare Grösse der gesehenen Objecte, in *Archiv für Ophthalm.*, V, 1, p. 1-36.

1860. D. Brewster, On some optical illusions connected with the inversion of perspective, in *Athenæum*, 1860, 2, p. 24. — *Rep. of Brit. Assoc.*, 1860, 2, p. 7-8.

— Sinsteden, Ueber ein neues pseudoskopisches Bewegungsphänomen, in *Pogg. Ann.*, CXI, 336-339. — *Cosmos*, XVIII, 290-292.

— Mohr, Ueber pseudoskopische Wahrnehmungen, in *Pogg. Ann.*, CXI, 638-642.

1862. E. Emerson, On the perception of relief, in *Silliman's Journ.*, 2, XXXIV, 312-314. — *Phil. Mag.*, 4, XXV, 125-130.

1862. R. T. Lewis, On the changes in the apparent size of the moon, in *Phil. Mag.*, 4, XXIII, 380-382.

— T. Zeno (Même sujet), in *Phil. Mag.*, 4, XXIV, 390-392.

— G. Schweizer, Ueber eine merkwürdige optische Täuschung, die bei der Betrachtung des Mondes durch Fernröhre vorkommen kann, in *Bull. de Moscou*, 1862, 1, p. 336-342. — *Astronom. Nachrichten*, LVIII, 182-192.

II. — Stéréoscopie et perception binoculaire du relief.

300 (av. J. C.). Euclide, Optice et Katoptrice.

1583. B. Porta, De refractione.

1613. Aguilonius, Opticorum libri VI. Antwerp.
1651. Leonardo da Vinci (né en 1452, mort en 1519), Trattato della pittura. Rom., 1651.
1728. R. Smith, Optics, II, 388, 526.
1792. W. C. Wells, Essay upon single vision with two eyes. London, 1792. — Nouvelle édit., London, 1818.
1811. W. C. Wells, Observations and Experiments on vision, in *Phil. Trans.*, 1811.
1833. A. Mayo, Outlines of human Physiology, p. 288.
1838. C. Wheatstone, Contributions to the Physiology of vision, Part I. — On some remarkable and hitherto unobserved Phenomena of binocular vision, in *Phil. Trans.*, 1838, II, 371-394.
1841. Brücke, Ueber die stereoskopischen Erscheinungen, in *Müller's Archiv*, 1841, p. 459.
1842. Tourtual, Die Dimension der Tiefe. Münster.
1844. D. Brewster, Law of visible position in single and binocular vision and on the representation of solid figures by the union of dissimilar plane pictures in the retina, in *Edinb. Phil. Trans.*, XV. — *Phil. Magaz.*, XXIV, 356-439.
1850. D. Brewster, Notice of a chromatic Stereoscope, in *Edinb. Journ.*, XLVIII, 150. — *Institut*, n° 850, p. 128. — *Phil. Mag.*, 4, III, 31. — *Silliman's Journ.*, 2, XV, 289-290.
— Duboscq, Description du stéréoscope de M. Brewster construit par lui, in *Comptes rendus*, XXXI, 895. — *Bull. de la Soc. d'encouragement*, 1851, p. 45. — *Dingler's polyt. Journal*, CXX, 159. — *Athenæum*, 1861, p. 1350.
— H. W. Dove, Ueber das Binocularsehen prismatischer Farben und eine neue stereoskopische Methode, in *Pogg. Ann.*, LXXX, 446. — *Berl. Monatsber.*, 1850, p. 152. — *Arch. de Genève*, XIX, 219.
— H. W. Dove, Beschreibung mehrerer Prismenstereoskope und eines einfachen Spiegelstereoskops, in *Pogg. Ann.*, LXXXIII, 183. — *Berl. Monatsber.*, 1851, p. 246. — *Phil. Mag.*, 4, II, 29. — *Inst.*, n° 937, p. 404.
— H. W. Dove, Ueber eine bei dem Doppeltsehen einer geraden Linie wahrgenommene Erscheinung, in *Berl. Monatsber.*, 1850, p. 363. — *Inst.*, n° 907, p. 128.
1852. J. Duboscq, Nouveaux stéréoscopes, in *Cosmos*, I, 97-104 ; 703-705.
— D. Brewster, Description of several new and simple Stereoscopes for exhibiting, as solids, one or more representations of them on a plane, in *Phil. Mag.*, 4, III, 16-26. — *Trans. of Scott. Soc. of arts*, 1849. — *Rep. of. Brit. Assoc.*, 1849, 2, p. 5. — *Arch. des sc. phys.*, XIX, 200-204. — *Dingler's polyt. Journ.*, CXXIV, 109-112. — *Silliman's Journ.*, 2, XV, 140-142 ; 288-289.
— D. Brewster, Account of a binocular Camera and of a Method of obtaining drawings of full length and colossal statues, in *Phil. Mag.*, 4, III, 26-30. — *Trans. of Scott. Soc. of arts*, 1849. — *Rep. of Brit. Assoc.*, 1849, 2, p. 5.
— D. Brewster, Sur la vision binoculaire et le stéréoscope, in *Cosmos*, I, 422-425. — *North British Review*, 1852, May.
— E. Wilde, Ueber die Anwendung der Camera lucida zu einem Stereoskope, in *Pogg. Ann.*, LXXXV, 63-67.
— C. Wheatstone, Contributions to the Physiology of vision, P. II. — On some remarkable and hitherto unobserved Phenomena of binocular vision, in *Phil. Mag.*, 4, III, 149-152 ; 504-523. — *Inst.*, 1852, p. 179-180. — *Arch. des sc. phys.*, XIX, 196-200.
— H. Meyer, Ueber die Schätzung der Grösse und der Entfernung der Gesichtsobjecte aus der Convergenz der Augenaxen, in *Pogg. Ann.*, LXXXV, 198-207. — *Arch. des sc. phys.*, XX, 137-138 — *Cosmos*, I, p. 47.
— Dove, in *Pogg. Ann.*, LXXXV, p. 407-408.
1853. W. Rollmann, Notiz zur Stereoskopie, in *Pogg. Ann.*, LXXXIX, 350-351.
— W. Rollmann, Zwei neue stereoskopische Methoden, in *Pogg. Ann.*, XC, 186-187. — *Zeitschr. für Naturwiss.*, III, 97-100. — *Fechner's Centralblatt*, 1855, p. 980-981.
— W. Hardie, Description of a new Pseudoscope, in *Phil. Mag.*, 4, V, 442-446.
— C. Clarke, Perfectionnements apportés au stéréoscope, in *Cosmos*, III, 123.
— Kilburn, Stéréoscope écrin, in *Cosmos*, III, 770.
1854. J. Duboscq, Stéréoscope cosmoramique, ou Optique stéréoscopique, in *Cosmos*, IV, 33-35.
— Claudet, Théorie des images stéréoscopiques, in *Cosmos*, IV, 65-67.
— Claudet, Angle stéréoscopique, in *Cosmos*, IV, 147.

1854. G. Knight, On a stereoscopic cosmoramic lens, in *Athenæum*, 1854, p. 1241-1242. — *Cosmos*, V, 240. — *Rep. of Brit. Assoc.*, 1854, 2, p. 70.
— Moigno, Invention du stéréoscope par réfraction, in *Cosmos*, V, 241.
— Smee, Sur la perspective binoculaire, in *Cosmos*, V, 512-513.
1855. J. Czermak, Beiträge zur Physiologie des Gesichtsinnes, in *Wiener Ber.*, XII, 322-366 ; XV, 425-466 ; XVII, 563-576.
— F. Burckhardt, Ueber Binocularsehen, in *Verhandl. d. naturf. Ges. in Basel*, I, 123-154.
— Soret, Sur un phénomène de vision binoculaire, in *Biblioth. univers. de Genève*, octobre 1855.
1856. W. B. Rogers, Observations on binocular vision, in *Silliman's Journ.*, 2, XXI, 80-95 ; 173-189 ; 439. — *Edinb. Journ.*, 2, III, 210-217.
— D. Brewster, On Mr. Roger's Theory of binocular vision, in *Proc. of Edinb. R. Soc.*, III, 356-358.
— J. J. Oppel, Notizen über Stereoskopie, insbesondere über eine einfache vergrössernde Modification des Stereoskops ohne Spiegel und Gläser, in *Jahresber. d. Frankfurt. Vereins*, 1855-1856, p. 37-56.
— Faye, Sur un nouveau système de stéréoscope, in *Comptes rendus*, XLIII, 673-674. — *Pogg. Ann.*, XCIX, 641-642. — *Cosmos*, IX, 374-375. — *Inst.*, 1856, p. 349. — *Arch. des sc. phys.*, XXXIII, 221. — *Dingler's polyt. Journ.*, CXLIII, 316.
— Zinelli, Neue Methode, die Bilder im Relief zu sehen, in *Zeitschr. für Mathematik*, 1856, 1, p. 320-321. — *Horn's photogr. Journ.*, 1856, n° 10. — *Dingler's polyt. Journ.*, CXL, 315.
— H. Goldschmidt, Sur la vision stéréoscopique, in *Cosmos*, IX, 657.
— H. Meyer, Beitrag zur Lehre von der Schätzung der Entfernung aus der Convergenz der Augenaxen, in *Archiv für Ophthalmalogie*, II, 2, p. 92-94.
— J. M. Hessemer, Ueber die Anfertigung stereoskopischer Bilder, in *Dingler's polyt. J.*, LXXXIX, 111-121.
— Lugeol, Stereoscopic Experiment, in *Silliman's Journ.*, 2, XXII, 104.
— Sutton, Sur la théorie du stéréoscope, in *Cosmos*, IX, 313-319.
— D. Brewster, The Stereoscope, its history, theory and construction. London, 1856.
— A. Claudet, On various Phenomena of refraction through semilenses or prisms, producing anomalies in the illusion of stereoscopic images, in *Proc. of R. Soc.*, VIII, 104-110. — *Athenæum*, 1856, p. 1029. — *Cosmos*, XI, 283-285. — *Inst.*, 1856, p. 346. — *Phil. Mag.*, 4, XIII, 71-75. — *Rep. of Brit. Assoc.*, 1856, 2, p. 9-10.
— D. Brewster, Réclamation de priorité, in *Cosmos*, VIII, 549-552.
— Wheatstone, Réponse aux assertions de Sir D. Brewster, in *Cosmos*, VIII, 625-628.
1857. Dove, Ueber die Unterschiede monocularer und binocularer Pseudoskopie, in *Berl. Monatsber.*, 1857, p. 221-226. — *Pogg. Ann.*, CI, 302-308.
— Dove, Darstellung von Körpern durch Betrachtung einer Projection derselben vermittels eines Prismenstereoskops, in *Berl. Monatsber.*, 1857, p. 291.
— A. Cima, Sopra un nuovo fenomeno di stereoscopia, in *Cimento*, VI, 185-192. — *Comptes rendus*, XLV, 664. — *Phil. Mag.*, 4, XIV, 480. — *Pogg. Ann.*, CII, 319. — *Inst.*, 1857, p. 364-365. — *Cosmos*, XI, 353-354.
— J. G. Halske, Stereoskop mit beweglichen Bildern, in *Pogg. Ann.*, C, 657-658.
— J. Elliot, The telescoping Stereoscope, in *Phil. Mag.*, 4, XIII, 78. — *Silliman's Journ.*, 2, XXIII, 292.
— J. Elliot, On two new forms of the stereoscope, intended for the purpose of uniting large binocular pictures, in *Phil. Mag.*, 4, XIII, 104-108 ; 218-219.
— H. Helmholtz, Das Telestereoskop, in *Pogg. Ann.*, CI, 494-496 ; CII, 167-175. — *Verhandl. d. naturhist. Vereins d. Rheinl.*, 1857. — *Ann. de chimie*, 3, LII, 118-124. — *Phil. Mag.*, 4, XV, 19-24. — *Inst.*, 1858, p. 63-64. — *Silliman's Journ.*, 2, XXV, 297-298. — *Dingler's polyt. Journ.*, CXLIV, 268-270. — *Polytechn. Centralbl.*, 1857, p. 1449-1450 ; 1858, p. 180-186. — *Cimento*, VI, 239-240. — *Cosmos*, XI, 352-353.
— J. Duboscq, Note sur une nouvelle disposition du stéréoscope à prismes réfringents, à angle variable et lentilles mobiles, in *Comptes rendus*, XLIV, 148-150. — *Cosmos*, X, 91-92.
— W. Crookes, Théorie des images stéréoscopiques, in *Cosmos*, X, 461-461.
— D. Brewster and C. Wheatstone, in *Liverpool and Manchester Photographic Journ.*, 1857, January 1, p. 4-7 ; January 15, p. 21-23. (Discussion de priorité.)

1858. Dove, Ueber den Einfluss des Binocularsehens bei Beurtheilung der Entfernung, durch Spiegelung und Brechung gesehener Gegenstände, in *Berl. Monatsber.*, 1858, p. 312-315. — *Pogg. Ann.*, CIV, 325-329. — *Inst.*, 1858, p. 282-283.

— W. Hardie, On the Telestereoscope, in *Phil. Mag.*, 4, XV, 156-157. (Réclamation de priorité.)

— Smith and Beck, Improvements to the Stereoscope, in *Athenæum*, 1858, II, 269-270.

— A. Boblin, Expérience d'optique permettant d'obtenir d'une seule épreuve photographique la sensation d'un corps en relief, in *Bull. de Brux.*, 2, V, 304-306. — *Inst.*, 1858, p. 431-432. — *Comptes rendus*, XLVII, 444.

— Claudet, On the Stereomonoscope, in *Phil. Mag.*, 4, XVI, 462-463. — *Proc. of Roy. Soc.*, IX, 194-196. — *Dingler's polyt. Journ.*, CLI, 72-73. — *Cosmos*, XII, 493.

— J. C. D'Almeida, Nouvel appareil stéréoscopique, in *Comptes rendus*, XLVII, 61-63.

1859. F. v. Recklinghausen, Netzhautfunctionen, in *Archiv für Ophthalmol.*, V, 2, 127-179. — *Pogg. Ann.*, CX, 65-92.

— E. Brücke, Eine Dissectionsbrille, in *Arch. für Ophthalm.*, V, 2, p. 181-183.

— H. W. Dove, Stereoskopische Darstellung eines durch einen Doppelspath binocular betrachteten Typendrucks, in *Berl. Monatsber.*, 1859, p. 278-280. — *Pogg. Ann.*, CVI, 655-657. — *Phil. Mag.*, 4, XVII, 414-415.

— H. W. Dove, Anwendung des Stereoskops, um einen Druck von seinem Nachdruck, überhaupt ein Original von seiner Copie zu unterscheiden, in *Berl. Monatsber.*, 1859, p. 280-288. — *Pogg. Ann.*, CVII, 657-660. — *Phil. Mag.*, 4, XVII, 415-417. — *Dingler's polyt. Journ.*, CLIII, 451-454. — *Polytechn. Centralbl.*, 1859, p. 741-744.

— J. Müller, Stereoskopische Mondphotographie, in *Pogg. Ann.*, CVII, 660. — *Ber. d. Freiburger Ges.*, II, 67. — *Dingler's polyt. Journ.*, CLIII, 75.

— W. de la Rue, Report of the present state of celestial photography in England. Stereoscopic pictures of the moon, in *Rep. of Brit. Assoc.*, 1859, 1, p. 143-145. — *Cosmos*, XV, 519-521.

— W. de la Rue, Stereoscopic pictures of the larger planets, in *Rep. of Brit. Assoc.*, 1859, 1, p. 148, 149.

— J. J. Oppel, Ueber das Einfachsehen doppelter Bilder bei gekreuzten Augenaxen, in *Jahresber. d. Frankfurt. Vereins*, 1858-59, p. 22-38; p. 64-75.

— Samuel, On an early form of the lenticular Stereoscope constructed for the use of schools, in *Rep. of Brit. Assoc.*, 1858, 2, p. 19.

— H. W. Dove, Optische Studien, Fortsetzung der in der Farbenlehre enthaltenen. Berlin, 1859. (Réunion de ses mémoires déjà cités.)

— J. Beck, On producing the idea of distance in the stereoscope, in *Rep. of Brit. Assoc.*, 1858, 2, p. 7.

— E. Douliot, Sulla percezione de' rilievi nello steroscopio e nella natura, in *Cimento*, X, 342-352.

1860. P. Volpicelli, Di uno steroscopio diaframmatico, in *Cimento*, XII, 181-189.

— J. Beck, Verbesserungen an Stereoskopen, in *Lond. Journ. of arts*, June 1860. — *Dingler's polyt. Journ.*, CLVII, 277-278.

— H. W. Dove, Ueber die Nicht-Identität der Grösse der duch Prägen und Guss in derselben Form von verschiedenen Metallen erhaltenen Medaillen, in *Pogg. Ann.*, CX, 498-499. — *Phil. Mag.*, 4, XX, 327. — *Dingler's polyt. Journ.*, CLVII, 280-281.

— A. Rollet, Physiologische Versuche über binoculares Sehen, angestellt mit Hülfe planparalleler Glasplatten, in *Wiener Ber.*, XLII, 488-502.

— E. Brücke, Ueber prismatische Brillen, in *Wiener med. Wochenschrift*, 9 Juni 1860.

— Giraud-Teulon, De l'influence sur la vision binoculaire des verres de lunettes concaves ou convexes, et, en particulier, de leurs régions prismatiques externes ou internes. Paris. — *Comptes rendus*, L, 382-385.

1861. W. Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, Vierte Abhandl., Ueber das Sehen mit zwei Augen, in *Henle und Pfeufer's Zeitschr.*, 3, XII, 145-262. — *Pogg. Ann.*, CXVI, 617-628. — Différents mémoires ont paru réunis sous le titre :

— W. Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. Leipzig und Heidelberg, 1862.

— O. Becker und A. Rollet, Beiträge zur Lehre vom Sehen der dritten Dimension, in *Wiener Ber.*, XLIII, 2, p. 667-706.

1861. H. W. Dove, Ueber Binocularsehen und subjective Farben, in *Berliner Monatsber.*, 1861, p. 521-522. — *Pogg. Ann.*, CXIV, 163-165.
— L. v. Babo, Ueber die stereoskopische Darstellung mikroskopischer Gegenstände, in *Ber. d. Freiburger Ges.*, II, 312-314.
— T. du Moncel, Rapport sur les appareils stéréoscopiques de M. Ph. Benoist, in *Bull. de la Soc. d'encourag.*, 1861, I, 198-201.
1862. J. Towne, The Stereoscope and stereoscopic results, in *Guy's Hospital Reports* 1862 and 1863, p. 103; XI, 144-180.
— E. Hering, Beiträge zur Physiologie. Leipzig, 1861-64, 2 bis, 5 Heft.
1864. Knapp, Exposé des avantages de l'ophthalmoscope binoculaire, in *Ann. d'oculistique*, 1864.
— E. Javal, De la neutralisation dans l'acte de la vision, in *Ann. d'ocul.*, LIV, 5-16.
1866. E. Javal, Sur un instrument nommé Iconoscope, destiné à donner du relief aux images planes examinées avec les deux yeux, in *Comptes rendus*, LXIII, 927.
— F. C. Donders, La vision binoculaire et la perception de la troisième dimension (extrait des *Archives Néerlandaises*, 1866, I).

§ 31. — De la diplopie binoculaire.

Jusqu'ici nous avons considéré les phénomènes de la vision binoculaire en tant qu'ils sont utilisés comme signes sensuels de la position des objets dans l'espace. Il nous reste à examiner les phénomènes subjectifs qui les accompagnent.

J'ai expliqué plus haut comment, dans la vision monoculaire, à côté de la notion de la distribution réelle des objets suivant les trois dimensions de l'espace, on se forme encore, si l'on fait attention à la manière dont on les voit, une notion de leur distribution dans le champ visuel superficiel. Lorsqu'on regarde avec les deux yeux, les objets apparaissent dans le champ visuel de chacun d'eux; mais comme, d'après ce que nous avons déjà vu, les images ne sont en général pas égales dans les deux champs visuels, elles ne peuvent pas coïncider d'une manière absolue dans le champ commun de la vision : certaines différences subsistent entre les deux champs visuels, et sont perçues. Nous examinerons, dans ce paragraphe, les phénomènes qui proviennent des différences d'étendue qui présentent les images des deux champs visuels, et dans le suivant, ceux qui sont causés par une inégalité d'éclairage ou de coloration des champs visuels ou de parties de ces champs.

Il faut bien remarquer que cette manière d'envisager le champ de vision comme tel, n'est pas le mode de perception naturel et primitivement acquis; qu'elle ne se produit, au contraire, que par une analyse consciente de la nature de nos impressions visuelles. Nous ne considérons plus alors le monde extérieur en lui-même, tel qu'il *est*, mais nous l'observons tel qu'il *apparaît* au point de vue où nous sommes placés. C'est alors essentiellement l'apparence qui intéresse soit le peintre qui veut la reproduire, soit le physiologiste qui veut l'étudier théoriquement.

Dès que nous commençons à examiner le champ de la vision pour lui-même, à la vision binoculaire, nous remarquons que la disposition des objets n'est pas la même dans les deux champs visuels. Ainsi, lorsque nous regardons les arbres à travers la croisée, l'œil gauche peut voir, vers la droite, une partie plus grande du feuillage que l'œil droit. Avec l'œil gauche, nous voyons, au bord droit de la fenêtre, des parties du feuillage que nous ne pouvons plus apercevoir avec l'œil droit, parce qu'elles lui sont cachées par l'encadrement de la fenêtre. Nous voyons donc cet encadrement limiter, dans les deux champs visuels, deux parties différentes du feuillage.

De même, le montant du milieu cache à l'œil droit une partie du feuillage autre qu'à l'œil gauche. Ainsi donc, lorsque nous promenons le regard sur les arbres, nous voyons, en deux endroits différents, le montant masquer le feuillage d'une manière incomplète, il est vrai. Ce montant se présentant dans deux parties du champ visuel, nous paraît, par conséquent, *double*.

Si l'on promène, au contraire, le regard sur la boiserie de la fenêtre ou sur le vitrage, de manière à rencontrer successivement les petites taches que peut présenter une vitre, puis le montant vertical du milieu, et enfin les irrégularités de l'autre vitre, il peut arriver qu'un tronc d'arbre qui, dans le champ de l'œil droit, paraît se trouver à droite derrière le montant, paraisse à sa gauche pour l'œil gauche. Par conséquent, l'objet éloigné apparaît également deux fois lorsqu'on parcourt une série de points plus voisins : il paraît double.

Nous avons vu au paragraphe 28 que ce n'est pas seulement par des mouvements effectifs que nous pouvons déterminer la succession des points dans le champ visuel, mais que nous apprenons aussi à l'apprécier d'après la disposition simultanée de leurs images rétiniennes. Il n'est donc pas nécessaire de promener réellement le regard dans le champ visuel pour voir les images doubles : sans cesser de fixer un point d'une manière continue, il nous est encore possible de reconnaître la différence de la disposition des objets dans les deux champs visuels. Lorsque le même objet apparaît de part et d'autre du point fixé, ou que la grandeur et la direction de sa distance au point de fixation diffèrent d'une manière suffisamment remarquable, on reconnaît que cet objet apparaît en deux parties différentes du champ de la vision.

Soient b_0 et b_1 (fig. 201), les deux yeux dirigés simultanément vers le point a, qui leur paraît, par conséquent, simple et dans sa position véritable. Le point c, qui est plus voisin que a, doit être vu par l'œil b_0 à droite du point a dans le champ de vision, puisque c est à droite de la ligne visuelle ab_0. Mais l'œil b_1 voit c à gauche de a. Ce point se pré-

sente donc, dans le champ commun de la vision, une fois à droite, une fois à gauche de a; il paraît donc double et sous forme d'images *croisées*, puisque celle des images de a qui paraît à droite appartient à l'œil gauche, et inversement.

Le contraire a lieu pour le point d, qui est plus éloigné. Dans le champ visuel de l'œil droit b_1, il paraît à droite de a, et dans celui de l'œil gauche, il se place à gauche de a; les doubles images sont dites alors *homonymes* ou *directes*.

La figure 202 représente un cas un peu différent; b_0 et b_1 sont encore les yeux, a le point de fixation commun. Supposons le point c en dehors de l'angle b_0ab_1, plus près des yeux que le point de fixation. Dans ce cas, c se trouve à gauche de a dans les deux champs visuels,

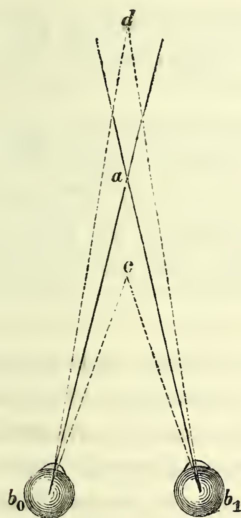


FIG. 201.

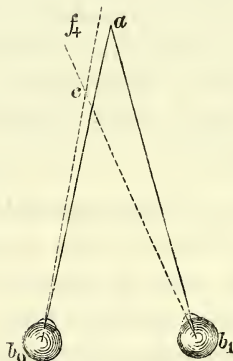


FIG. 202.

parce que les lignes de direction cb_0 et cb_1 sont toutes les deux respectivement à gauche de ab_0 et de ab_1. Mais l'angle cb_0a est bien plus petit que cb_1a. Dans le champ visuel de b_0, le point c est donc séparé de a par un angle bien plus petit que dans celui de l'autre œil. Si cette différence est assez sensible, l'image apparaît encore en deux endroits différents du champ commun de la vision : c paraît double. Mais, dans ce cas, les images doubles ne sont pas aussi nettes que lorsqu'elles se présentent de part et d'autre du point de fixation, comme dans la figure 201. C'est surtout lorsqu'elles sont un peu loin de a et qu'elles occupent des parties latérales du champ de vision, que leur distance et la différence entre leur intensité et celle des objets environnants ont besoin

d'être assez considérables, pour que ces images soient remarquées. Elles deviennent un peu plus sensibles lorsqu'un objet f bien visible, situé à peu près à la même distance des yeux que le point a, se trouve entre les prolongements des côtés de l'angle b_0cb_1, de manière que, dans le champ de vision commun, les images doubles de c se trouvent de part et d'autre de f. Alors les champs visuels de b_0 et de b_1 contiennent respectivement les successions acf et afc. Dans ces conditions, il est plus facile de voir les images séparées que lorsqu'elles se projettent sur un fond d'une coloration et d'un éclairage uniformes.

Enfin, on peut encore voir des images doubles lorsque les images du même point sont, dans les deux champs visuels, à la même distance du point fixé, mais que leurs directions présentent des différences assez grandes pour être remarquées.

C'est ce qui a lieu lorsque le point c est plus haut ou plus bas que le point a, et en même temps un plus rapproché des yeux que ce point.

Ainsi, nous voyons, en général, doubles les objets qui, dans les deux champs visuels, possèdent, par rapport au point de regard, des positions apparentes suffisamment différentes pour que cette différence puisse être appréciée. Nous voyons simples, au contraire, les objets qui ont, dans le champ visuel, la même position apparente par rapport au point de fixation.

Nous avons à examiner maintenant plus en détail quels sont les points des deux champs visuels qui possèdent la même position apparente par rapport au point de fixation, et qui, par conséquent, coïncident dans le champ visuel commun. Nous leur donnerons le nom de *points coïncidents* ou *correspondants;* on les a encore nommés *points identiques*, en faveur d'une théorie particulière. Comme à chaque point de chaque champ visuel répond un certain point rétinien, on peut également parler de *points coïncidents*, *correspondants* ou *identiques des deux rétines.* A l'exemple de Fechner, j'appellerai *disparates* les points qui ne se correspondent pas.

1. — *Les points de regard des deux champs visuels des yeux normaux sont des points correspondants.* — Le point de regard de chaque champ visuel répond à cette partie anatomiquement remarquable de la rétine, le centre de la *fovea centralis*, qui est l'endroit de la vision la plus distincte. Le point de regard est le point fixé du champ visuel. La proposition énoncée revient donc à dire que le point fixé est toujours vu simple, et qu'un objet qui se peint sur les centres des deux *fovea* apparaît simple.

C'est là une proposition vérifiée par toutes les observations faites sur des yeux normaux; on verra plus loin certains cas de strabisme auxquels elle ne s'applique pas.

Si nous recherchons la cause de ces faits, nous sommes amenés à nous poser la célèbre question de savoir pourquoi nous voyons simple avec les deux yeux. — Tant que l'on ne considère les sensations que comme des signes dont l'interprétation ne s'apprend que par l'expérience, la réponse ne présente pas de difficulté particulière. Presque tous les objets extérieurs affectent simultanément différentes fibres nerveuses de notre corps, et produisent des sensations composées dont nous apprenons à considérer l'ensemble comme étant le signe sensuel de l'objet extérieur, et cela sans que nous ayons conscience de la nature complexe de ce signe. Loin de là, dans la très-grande majorité des cas de ce genre, ce n'est que par l'analyse scientifique que nous parvenons à connaître la nature complexe de la sensation. La sensation du timbre d'un son est composée de la sensation simultanée d'un grand nombre de sons simples, de différente hauteur. Un crayon que nous tenons dans la main est senti à l'aide de deux doigts, c'est-à-dire par le moyen de deux groupes de fibres nerveuses différentes. Les deux narines contribuent à la perception d'une même odeur; la sensation, simple en apparence, que nous éprouvons au contact d'un corps humide, est composée de celle du poli et de celle du froid, etc. En réalité, il n'y a pas motif pour conclure à un objet compliqué d'après un effet complexe, produit sur un réactif aussi compliqué que notre corps.

C'est donc, en général, l'expérience seule qui peut nous apprendre si nous devons considérer comme signe sensitif d'un ou de plusieurs objets, un groupe de sensations que nous avons souvent occasion de rencontrer.

Si nous remarquons que l'usage normal des yeux est celui où nous fixons avec les deux yeux l'objet qui attire notre attention, de telle sorte que l'objet se peint sur les centres des deux fossettes rétiniennes, points où la vision est la plus exacte, il en résulte que les deux centres des *fovea* reçoivent toujours les images d'un seul et même objet extérieur dont on peut, du reste, en tant que de besoin, constater l'unité par le toucher, et que, par suite, nous considérons toujours leurs sensations comme se rapportant à un même point de l'espace. Nous voyons donc simple avec les deux points de regard, parce que, dans l'usage normal ordinaire des yeux, les deux *fovea* reçoivent toujours l'image d'un objet unique, et dont l'unité est ou peut être constatée à l'aide du toucher.

Dans l'opinion contraire, d'après laquelle certaines sensations de notre

corps peuvent déjà, préalablement à toute expérience, produire certaines représentations d'espace, il faut admettre que les deux fossettes rétiniennes, ainsi que toute autre paire de points correspondants des deux rétines, donnent des notions d'espace identiques à l'aide d'un mécanisme inné. C'est aussi pour cette raison que les parties correspondantes des rétines ont reçu d'abord le nom de *points identiques*. Nous ne pouvons donner qu'à la fin du paragraphe suivant la comparaison critique de ces deux opinions.

On ne trouve pas, dans la littérature, d'observations d'aveugles-nés auxquels la vue ait été rendue simultanément aux deux yeux, dans des conditions convenables pour permettre d'étudier la manière dont s'établit la vision simple binoculaire. D'ailleurs, à cause de la complication extrême qu'introduirait, dans l'observation de ces malades, l'étude simultanée de la manière dont se forme la vision monoculaire, et de celle dont la vision binoculaire s'établit, il est préférable d'étudier des cas où, par suite d'un strabisme ancien, la vision simultanée d'un même objet à l'aide des deux *fovea* est restée impossible pendant nombre d'années. Comme je n'ai pas eu l'occasion d'observer par moi-même des cas de ce genre, M. Javal, qui, depuis 1863, a examiné environ 150 strabiques au point de vue du rétablissement de la vision binoculaire, tant à l'aide de la ténotomie qu'au moyen d'exercices appropriés, a eu l'obligeance de rédiger, à ce sujet, une note que je me permets d'intercaler. — Les faits contenus dans cette note, dont je laisse la responsabilité à son auteur, me paraissent favorables à la théorie empiristique.

« Les strabismes qui existent depuis la naissance, ou du moins depuis les premières années de la vie, pouvant seuls fournir des renseignements utiles pour la question qui nous occupe, il ne sera question ici que de strabisme *convergent*, le strabisme divergent étant relativement très-rare chez les sujets âgés de moins de deux ou trois ans. — Pour le même motif, le strabisme consécutif à la paralysie d'un des muscles moteurs de l'œil ne peut rien nous apprendre : dans les cas de ce genre, la position des images doubles est exactement la même que chez une personne saine dont on déplacerait l'un des yeux par une pression extérieure : l'influence de la vision binoculaire préalable détermine toutes les circonstances de la diplopie. — De même encore, il faut laisser de côté les strabismes *périodiques*, assez fréquents chez les hypermétropes, où la position des yeux est souvent correcte, la déviation ne se produisant que par moments, lorsque le sujet fait un effort d'accommodation. Quelque ancienne que soit l'affection, un malade affecté de strabisme périodique se trouve ordinairement, au point de vue des doubles images binoculaires, dans les mêmes conditions qu'une personne saine qui se met à loucher volontairement. — Enfin, il est une classe assez nombreuse de strabiques qui se prêtent mal à l'étude de la fonction simultanée des deux *fovea ;* ce

sont ceux où, par suite de strabisme monolatéral invétéré, l'œil dévié a perdu la faculté de se redresser lorsqu'on ferme l'autre. Pour démontrer que cette abolition de la fixation centrale est un *effet* et non pas une *cause* du strabisme, il suffit de remarquer qu'une semblable anomalie, fréquente chez les adultes, est extrêmement rare avant l'âge de dix ou quinze ans. Ce sont les cas de ce genre qui ont amené certains auteurs à parler d'une prétendue *incongruence des rétines*, où l'œil dévié dirigerait constamment le même axe secondaire vers le point de fixation. S'il en était véritablement ainsi, il faudrait qu'il existât un *strabisme concomitant* dans l'acception rigoureuse du mot ; or j'ai souvent trouvé qu'en promenant le point de fixation vers les limites du champ de vision, les mouvements associés de l'œil dévié ne se font pas avec l'exactitude qu'exigerait une semblable hypothèse. De même que les strabiques alternants dont il sera question plus loin, je ne crois pas que ces malades jouissent de la vision binoculaire du *point de regard*, bien que l'œil dévié puisse servir à augmenter l'étendue du champ de regard, ainsi que A. v. Gräfe l'a démontré, et même à percevoir des objets renfermés dans le champ visuel de l'œil sain. Chez ces malades, la ténotomie ne produit qu'un redressement *cosmétique*, accompagné, dans les premiers temps, d'une diplopie qui disparaît lorsque le sujet a appris à négliger les images reçues par l'œil primitivement dévié.

» Bornons-nous donc à l'examen des malades fortement strabiques depuis longtemps et chez lesquels chaque œil a conservé la faculté de fixation. — Parmi ces sujets, les uns ont des yeux très-différents, et se servent de l'un pour voir de près et de l'autre pour voir de loin ; les autres ont des yeux sensiblement pareils, et, quelle que soit la distance du point de fixation, ils se servent alternativement de l'un ou de l'autre. En général, c'est alors l'œil gauche qui est employé pour regarder à droite, et *vice versâ*.

» Une première question est celle de savoir jusqu'à quel point les yeux ont une tendance naturelle à se diriger vers le même point de fixation. — Prenons un exemple déterminé (1). Une jeune fille de dix-sept ans, mademoiselle A., subit, le même jour, la section des deux muscles droits internes pour supprimer un strabisme intense, convergent et alternant, dont elle est affectée depuis l'âge de trois ans. Pendant l'anesthésie produite par le chloroforme, la double ténotomie est suivie d'une divergence considérable, — circonstance fréquente en pareil cas, — et qui disparaît au réveil, pour faire place immédiatement à la vision binoculaire, sans diplopie. Le surlendemain de l'opération, je constate les doubles images physiologiques. On voit donc qu'alors même que le strabisme serait resté périodique pendant assez longtemps, pendant dix ans au moins, la malade n'avait jamais fixé binoculairement, et cependant, aussitôt que le débridement des muscles le permit, les deux *fovea* se portèrent sur le point de fixation, qui fut vu simple. Ajoutons que les yeux de mademoiselle A. étaient tous deux sensiblement normaux et que, pour obtenir une expérience plus décisive, pendant les deux jours de repos qui

(1) E. Javal, quatre observations de strabisme convergent, accompagnées de remarques sur l'étiologie et le traitement de cette affection, in *Annales d'ocul.*, 1867, LVII, p. 5-18. Observ. 63.

suivirent l'opération, je défendis expressément à la malade de découvrir les deux yeux simultanément.

» Les choses ne se passent pas toujours d'une manière aussi simple que dans le cas dont il vient d'être question. — Sous le nom d'*antipathie* contre la vision simple, A. de Gräfe (1) a décrit quelques cas de malades qui, après l'opération la mieux réussie, se trouvaient atteints d'une diplopie d'autant plus intolérable que les doubles images étaient extrêmement voisines. Il est important de remarquer que cette disposition se rencontre le plus souvent chez des enfants dont le strabisme n'existe pas depuis un grand nombre d'années, qu'elle est un résultat d'exercice, et que des exercices peuvent, en général, la supprimer en quelques heures. Au moyen d'un stéréoscope disposé de manière à permettre la superposition des images malgré la position convergente des yeux, il est possible de reconnaître, préalablement à la ténotomie, s'il existe ou non de l'antipathie contre la vision simple binoculaire (2). Il a fallu parler ici de cette affection pour insister sur ce fait qu'elle est généralement un résultat d'exercice, inversement à ce que l'on pourrait être tenté d'admettre.

» On a vu plus haut que lorsque le strabisme est de date relativement récente ou qu'il est périodique, les images doubles présentent la même position que chez une personne saine qui loucherait intentionnellement. Au point de vue de la théorie empiristique, il est très-intéressant de remarquer que, lorsque le strabisme est invétéré, les images doubles ne présentent plus du tout cette disposition. Si, avant l'opération, on mettait devant l'un des yeux de la malade citée plus haut, un prisme de 10 ou 15°, à base horizontale, on obtenait deux images situées à peu près verticalement l'une au-dessus de l'autre, ce qui prouve que chaque œil avait appris à apprécier exactement la position des objets, mais ce qui ne prouve aucunement que la fixation ait été réellement binoculaire. En effet, lorsque entre les deux yeux d'un malade de cette espèce, on place une cloison verticale située dans le plan médian de la tête, une flamme éloignée, située dans le plan de la cloison, peut être vue par un œil ou par l'autre; mais dès que le malade fait effort pour la voir simultanément des deux yeux, ce qui exige, il est vrai, qu'elle ne soit fixée par aucun, il la voit aussitôt en doubles images assez voisines (3). Cette expérience porte à croire, sans le prouver rigoureusement encore, que l'œil dévié n'est pas utilisé pour voir le point fixé. Il faut dire cependant que l'opinion contraire a été soutenue, entre autres par Pickford (4) et, plus récemment, avec des arguments plus solides, par Alfred Gräfe (5) et par Schweigger (6).

» La malade que nous avons prise pour exemple, et chez qui la projection des images s'était conformée à la déviation des yeux, appartient à un type assez fré-

(1) *Arch. für Ophth.*, 1854, I, 1, p. 117-120.

(2) E. Javal, Note sur la neutralisation et sur l'incongruence des rétines, in *Ann. d'ocul.*, 1863, L, 316-318. (Dans cet article, le mot incongruence a été employé à tort au lieu de l'expression d'antipathie contre la vision simple).

(3) E. Javal, Ueber Incongruenz der Netzhäute, in *Klin. Monatsbl. für Augenheilk.*, 1864, p. 487-441. — Traduit in *Ann. d'ocul.*, 1865, LIV, 123-125.

(4) *Roser und Wunderlich's Archiv für physiologische Heilkunde*, 1842, p. 590.

(5) *Archiv für Ophth.*, 1865, XI, 2, p. 41.

(6) *Klin. Monatsbl. für Augenheilk.*, 1867, V, 1-31.

quent en réalité, mais que les oculistes rencontrent généralement sans s'en apercevoir, pour cette raison bien simple que l'opération n'est suivie d'aucun résultat fâcheux. La théorie empiristique, pour expliquer comment il n'y a pas eu de diplopie après l'opération, devra admettre que la malade ne savait pas faire la part de chaque œil dans les impressions reçues, et qu'une fois la déviation corrigée, la malade croit, par exemple, fixer avec l'œil droit et localise les impressions de l'œil gauche comme si elles étaient perçues par l'œil droit. — Supposons maintenant que le résultat de la ténotomie ait été insuffisant, notre malade n'aurait pas été à même de mettre les lignes visuelles en parallélisme pour voir un objet éloigné ; cependant, lors de la fixation de cet objet par l'œil droit, il s'en serait formé, dans l'œil gauche, une image plus voisine de la *fovea* qu'avant l'opération ; par conséquent mademoiselle A. aurait vu des doubles images *croisées*, tout en continuant de loucher légèrement *en dedans*. Un pareil résultat, prévu par la *théorie empiristique*, ne peut se concilier avec la *théorie nativistique* qu'en ayant recours à une prétendue *incongruence des rétines*, mais le plus net des cas signalés par A. v. Graëfe (1) ne paraît pas de nature à prouver l'existence d'une anomalie congénitale de ce genre, malgré l'ingénieuse argumentation de cet auteur.

» Une circonstance heureuse m'a permis, d'ailleurs, d'étudier le cas célèbre du docteur W., qui avait été présenté au congrès ophthalmologique de Heidelberg en 1857 par M. de Gräfe comme affecté d'incongruence. En négligeant un léger astigmatisme, le docteur W. est emmétrope de l'œil gauche et myope de l'œil droit. Après avoir subi deux ténotomies qui lui avaient laissé une légère convergence, le malade avait pris l'habitude, depuis plusieurs années, de se servir de son œil droit pour voir de près, en laissant son œil gauche en divergence *relative*. Conformément à la théorie empiristique, après avoir subi une nouvelle ténotomie qui rétablit à peu près parfaitement le parallélisme des lignes visuelles, le malade fut affecté de diplopie croisée lorsqu'il regardait au loin en fixant avec l'œil gauche, et de diplopie homonyme lorsqu'il regardait au loin avec l'œil droit, ce dernier fait s'expliquant par cette circonstance qu'il n'avait fait usage jusque-là de son œil droit que pour voir de près, position où l'œil gauche était en divergence relative assez considérable, tandis qu'en regardant au loin avec l'œil droit, son œil gauche présentait actuellement une faible divergence (2). Si j'ajoute que l'oculiste, dont l'observation vient de nous occuper, apprit en quelques minutes à voir simple binoculairement, puis à voir aussitôt, à volonté, les doubles images dans la même position que s'il n'avait jamais louché, on avouera qu'il n'y avait pas lieu de parler d'incongruence des rétines.

» Tandis que le docteur W. voyait *alternativement* les doubles images simultanées, soit dans leur position physiologique, soit dans la position que la théorie empiristique leur assignait pour la fixation de l'œil gauche, soit dans celle résul-

---

(1) A. v. Graefe, Ueber Doppelsehen nach Schieloperationen und Incongruenz der Netzhäute, in *Arch. für Ophth.* (1854), I, 1, p. 82-120. — Nachträgliche Bemerkungen über Incongruenz der Netzhäute, *ibid.* (1855), I, 2, p. 294-299.

(2) Voyez cette observation in Wecker, Études ophthalmologiques (1866), II, p. 931 et 934, où les faits sont interprétés d'une manière tout autre.

tant de cette même théorie pour la fixation de l'œil droit, on peut citer des cas où la diplopie se produisait *simultanément* de diverses manières, de manière à donner, par exemple, une image simple *binoculaire* accompagnée d'une autre image monoculaire, un même œil donnant, par conséquent, deux images localisées simultanément en deux endroits différents de l'espace (1). C'est de cette manière qu'il me semble devoir interpréter une intéressante observation d'Alfred Gräfe (2) relative à un strabique divergent qui savait à volonté supprimer la déviation de ses yeux, à condition de voir double. J'ai eu occasion d'observer, en effet, un cas analogue au sien, mais consécutif à une ténotomie des muscles droits internes, où il suffisait d'interposer verticalement une règle entre la malade et l'objet pour s'assurer que, dans l'une des doubles images, cette règle ne cachait rien : cette image, que la malade considérait comme fausse, était donc binoculaire. La malade, très-intelligente, sait regarder à volonté l'image binoculaire ou l'image monoculaire, qui sont fort éloignées l'une de l'autre, et il est clair que ce mouvement d'attention n'est accompagné d'*aucun* mouvement des yeux.

» C'est encore le lieu de consigner ce fait important que certains strabiques, même après le rétablissement de la vision binoculaire (3), savent reconnaître avec une certitude complète quel est l'œil qui reçoit telle ou telle impression visuelle.

» Outre les cas de projection empiristique dont il a été question jusqu'ici, on pourra lire encore ceux de Donders (4) et de Schweigger (5), et une critique que Nagel (6) a faite d'un de mes mémoires déjà cités. »

2. — *Les horizons rétiniens des deux yeux se correspondent.* — J'ai défini plus haut (p. 601) les horizons rétiniens des yeux normaux comme étant les méridiens des deux yeux qui coïncident avec le plan de visée lorsque les yeux sont dirigés parallèlement et dans la position primaire, et j'ai déjà dit que ces méridiens se correspondent. Pour les yeux myopes, il n'en est généralement pas ainsi, et j'ai déjà proposé plus haut de considérer comme horizons rétiniens les méridiens qui se trouvent dans le plan de visée, lorsque les yeux sont dirigés de telle façon qu'une série de parties correspondantes des deux rétines viennent se placer dans ce plan. Pour les yeux myopes, cette condition est le plus souvent remplie par une certaine position à la fois convergente et descendante. En définissant ainsi les horizons rétiniens, la proposition énoncée ci-dessus ne serait que la conséquence de cette définition, mais il faut encore re-

(1) E. Javal, De la neutralisation dans l'acte de la vision, in *Ann. d'ocul.* (1865), LIV, 15.

(2) Ueber einige Verhältnisse des Binocularsehens bei Schielenden mit Beziehung auf die Lehre von der Identität der Netzhäute, in *Arch. für Ophth.* (1865), XI, 2, p. 40-45.

(3) *Klin. Monatsbl. für Augenheilk.*, 1864, II, 439-440.

(4) *Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde*, III, 357-358. — Anomalies of Accommodation and refraction, p. 164-166.

(5) *Klin. Monatsbl. für Augenheilk.* (1867), V, 1-31.

(6) Zur Symptomatologie des Schielens, in *Klin. Monatsbl. für Augenheilk.* (1865), III, 63-70.

marquer que les horizons rétiniens se distinguent également par ce fait qu'à vue d'œil leur plan semble coïncider avec le plan de visée lorsque le point de fixation se trouve dans le plan médian.

Volkmann a donné, pour ses yeux (qui sont un peu myopes), des déterminations exactes de la position des horizons rétiniens (1). — Sur un mur plan, situé devant les yeux, deux disques mobiles autour de leurs centres étaient disposés de telle sorte que ces centres se trouvaient sur les axes optiques des deux yeux, lesquels étaient dirigés parallèlement. Chaque disque portait une ligne mince, suivant un diamètre ou un rayon, et mobile avec le disque. La valeur du déplacement se mesurait à l'aide d'une graduation disposée sur le bord des disques.

Première série d'expériences.—Le diamètre de gauche est horizontal ; on cherche à amener le diamètre du disque de droite à lui être parallèle. Pour les voir séparés, il fallait incliner légèrement la tête vers un côté. La moyenne de trente expériences donna :

Angle d'intersection........................	0°,443
Valeur probable de l'erreur d'observation......	0°,08

Deuxième série d'expériences. — Le diamètre droit était horizontal ; on cherchait à lui rendre parallèle le diamètre gauche, toutes les autres circonstances étant les mêmes d'ailleurs ; les résultats furent :

Angle d'intersection.....	0°,553
Erreur probable.......	0°,11

Troisième série d'expériences.— Le diamètre gauche est horizontal ; on dispose le diamètre droit de manière qu'en coïncidant avec l'autre il forme une ligne aussi fine que possible. Moyenne de trente expériences :

Angle d'intersection.....	0°,397
Erreur probable........	0°,13

Quatrième série d'expériences. — Même disposition, seulement le diamètre droit est fixe et le diamètre gauche est mobile :

Angle d'intersection.....	0°,467
Erreur probable	0°,14

Cinquième série d'expériences.— A gauche, un rayon horizontal ; on place le rayon du disque de droite, de telle façon qu'il paraisse sur la même ligne droite que l'autre. Moyenne de trente expériences :

Angle d'intersection.....	0°,46
Erreur probable........	0°,125

(1) Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik. Leipzig, 1864, 2, pp. 206-208 et 222.

Sixième série d'expériences.— Même disposition, seulement le rayon de droite est fixe, et l'autre, mobile :

Angle d'intersection.....	0°,463
Erreur probable........	0°,096

On voit que ces séries d'expériences donnent toutes des résultats à peu près concordants, à savoir :

1.	0°,443
2.	0°,553
3.	0°,397
4.	0°,467
5.	0°,460
6.	0°,463
Moyenne...	0°,464

Le sens de cette aberration est tel que la partie externe de chaque horizon rétinien se trouve un peu plus bas que la partie interne.

Septième série d'expériences. — Enfin, Volkmann a encore fait des expériences dans lesquelles il ne regardait qu'un seul disque, avec l'œil gauche, et cherchait à en placer le diamètre horizontalement ; en moyenne de trente expériences, il plaçait l'extrémité gauche de 0°,203 trop bas.

Huitième série d'expériences.— Même disposition, mais pour l'œil droit. L'extrémité droite du diamètre se plaçait de 0°,233 trop bas.

La somme de ces deux déviations, 0°,203 + 0°,233 = 0°,436, répond, avec une exactitude suffisante, à l'angle trouvé plus haut pour l'intersection des horizons rétiniens.

En suivant les méthodes des quatre premières séries d'expériences, Volkmann a trouvé, chez quelques autres observateurs, pour l'angle d'intersection des horizons rétiniens, les valeurs suivantes :

Professeur H. Welcker	0°,72
Étudiant en médecine Käherl.........	0°,26
Dr Schweigger-Seidel...............	0°,43

J'ai fait, sur mes yeux, des expériences d'après la méthode suivie par Volkmann dans la cinquième et la sixième série, et je ne trouve pas de déviation sensible des horizons rétiniens lorsque je n'ai regardé préalablement que des objets éloignés ou lorsque, pendant une longue série d'expériences, j'ai maintenu les lignes visuelles en parallélisme. Mais lorsque je viens de lire ou d'écrire, ce qui exigeait une position convergente, je trouve une petite déviation dans le même sens que Volkmann, mais dont la grandeur varie et qui disparaît lorsque je prolonge les expériences.

M. le docteur Dastich, dont l'œil gauche est normal et l'autre myope, a trouvé une déviation de 0°,31.

Pour ce qui concerne le mode de production probable de cette relation d'identité des méridiens horizontaux, il faut remarquer qu'en fixant un

point objectif déterminé, nous trouvons toujours une série d'images des mêmes points, dans ces deux méridiens des champs visuels et des rétines qui coïncident avec le plan de visée, quelle que soit, du reste, la ligne d'intersection du plan de visée avec la surface de l'objet. Pour tous les autres méridiens, ce rapport varie beaucoup, au contraire, avec la position et la forme de l'objet. Ainsi, lorsqu'une ligne droite verticale passe par le point de fixation, les images de cette ligne se forment sur les méridiens verticaux des champs visuels et sur les points rétiniens correspondants. Si la ligne se rapproche de l'observateur par en haut, ses images tombent sur deux méridiens des champs visuels qui convergent en haut; si, au contraire, la ligne s'éloigne de l'observateur par en haut, elle apparaît sur deux méridiens qui divergent en haut. Ainsi, à l'exception des méridiens situés dans le plan de visée, la forme et la position de l'objet déterminent le méridien du second œil sur lequel se représentent les images des points qui se peignent sur un méridien donné du premier œil. Les méridiens situés dans le plan de visée sont les seuls qui reçoivent des images correspondantes indépendamment de la forme et de la position des objets.

Il est certain que les différentes positions des yeux peuvent amener différents méridiens rétiniens dans le plan de visée. Mais nous pouvons admettre que, dans la vie ordinaire, lorsque le corps et les yeux ne sont pas maintenus d'une manière trop constante dans une position déterminée commandée par une occupation toujours la même, les yeux affectent, la plupart du temps, une position plus ou moins voisine de la position primaire et que, par conséquent, les méridiens rétiniens qui coïncident avec le plan de visée, dans la position primaire des yeux, — et ce sont les horizons rétiniens, — reçoivent plus souvent que tous les autres des images correspondantes; et c'est pour cette raison, sans doute, que c'est pour ces méridiens que se produit l'habitude de projeter au même endroit de l'espace.

La contemplation habituelle d'objets voisins, pour l'observation desquels les regards s'abaissent et convergent, pourrait entraîner, au contraire, la production d'un écart semblable à celui que Volkmann a observé sur lui-même et sur d'autres; car lorsque le regard est ainsi dirigé, les horizons rétiniens de l'observateur chez lequel existe cette aberration viennent effectivement se placer dans le plan de visée.

3.—*Les méridiens apparemment perpendiculaires à l'horizon rétinien coïncident entre eux.* — On a déjà vu plus haut (p. 700) que les méridiens des champs visuels, qui paraissent former exactement un angle droit avec les horizons rétiniens, s'inclinent, en réalité, un peu en dehors

par leur extrémité supérieure. Lors donc que les horizons rétiniens sont dans le plan de visée, les méridiens verticaux apparents sont un peu divergents en haut et convergents en bas. Ces mêmes méridiens verticaux apparents, qui paraissent donc avoir, dans les deux champs visuels, la même position par rapport au point de fixation et à l'horizon rétinien, se trouvent être correspondants dans le champ visuel binoculaire.

Pour déterminer l'angle d'intersection des lignes verticales apparentes qui se correspondent, on peut employer les mêmes méthodes que pour déterminer celui des horizons rétiniens, à l'exception de celle qui fait usage de la superposition des lignes. En effet, dans le cas actuel, deux lignes de même couleur se confondent trop facilement en une seule image stéréoscopique, alors même qu'elles ont des directions assez disparates. Mais on peut éviter cette fusion en donnant aux deux lignes des colorations tout à fait différentes, en combinant, par exemple, un fil blanc sur fond noir avec un fil noir sur fond blanc. C'est par la méthode suivante que j'ai fini par obtenir les appréciations les plus certaines et les plus concordantes, pour des comparaisons de ce genre.

Sur un tableau vertical de bois, on tend une feuille de papier noir sur laquelle on fixe, l'un à côté de l'autre, d'abord une bande de papier rouge, de 3 millimètres de largeur, dont les bords rectilignes soient bien parallèles, et, en second lieu, un fil bleu. On donne à ces deux objets une position à peu près verticale, de manière à les faire diverger un peu vers le haut, et une distance qui, à la hauteur des yeux de l'observateur, soit égale à l'intervalle de ces yeux. La bande de papier est fixée par ses deux extrémités, et le fil par son extrémité supérieure ; l'extrémité inférieure du fil est tendue par un léger poids. On déplace cette extrémité inférieure, autant qu'il est nécessaire, à l'aide d'une épingle qu'on finit par planter dans le tableau lorsque le fil est dans la position convenable. On regarde le fil et la bande avec des lignes visuelles parallèles ; le fil bleu apparaît alors au milieu de la bande rouge et l'on déplace le fil jusqu'à ce qu'il paraisse situé au milieu de cette bande suivant toute sa longueur ; c'est alors qu'on fixe l'épingle. Mesurant la distance du fil à la bande, à leurs deux extrémités, ainsi que la distance verticale des points mesurés, il est facile d'obtenir l'angle compris entre la bande et le fil.

La manière la plus directe de vérifier la proposition qui nous occupe consiste à déterminer, de la manière indiquée, l'écart des lignes correspondantes, horizontales et verticales et, en outre, les angles que forment, avec une ligne horizontale, les lignes qui lui paraissent perpen-

diculaires. M. Dastich a fait de semblables déterminations dans mon laboratoire ; il a trouvé les valeurs suivantes :

Angle des lignes verticales apparentes qui concordent....	2° 40′
Angles compris entre les horizons rétiniens............	0° 18′
Différence..........	2° 22′

L'aberration par rapport à l'angle droit était, chez le même observateur :

Pour son œil droit..............................	1° 12′
Pour son œil gauche.............................	1° 21′
Somme...........	2° 33′

La différence entre les deux premiers angles, qui est de 2°22′, est l'angle que formeraient entre eux les méridiens verticaux apparents si les yeux étaient dirigés de manière que les horizons rétiniens fussent dans le plan de visée. Elle diffère aussi peu de la somme 2°33′ qu'on peut s'y attendre pour le degré d'exactitude de semblables expériences. Par conséquent, les lignes verticales apparentes qui se correspondent ne diffèrent pas sensiblement des lignes qui, à vue d'œil, paraissent perpendiculaires aux horizons rétiniens.

Ce même fait peut se déduire aussi, d'une manière indirecte, des expériences de Volkmann. — En effet, outre les expériences déjà mentionnées (7e et 8e séries), où il cherchait à placer horizontalement un diamètre de ses disques, vu monoculairement, cet observateur a également cherché à placer un diamètre verticalement, en s'attachant à obtenir la verticalité absolue, et non pas la direction perpendiculaire à une droite horizontale visible. Comme il a déjà été dit plus haut que, dans les conditions de l'expérience, les horizons rétiniens lui paraissaient absolument horizontaux, il en résulte que les directions verticales apparentes, déterminées dans les expériences qui nous occupent actuellement, devaient lui paraître également perpendiculaires aux horizons rétiniens.

Neuvième série d'expériences. — Le disque étant regardé de l'œil gauche, on amène le diamètre dans une position verticale apparente. D'après la moyenne de 30 expériences, l'aberration est de 1°,307.

Dixième série d'expériences. — Même recherche pour l'œil droit ; aberration moyenne : 0°,82.

Il a déterminé l'angle des lignes verticales apparentes qui se correspondent d'après la même méthode que pour les lignes horizontales, et il a trouvé les nombres suivants :

MÉTHODE	MOYENNE.	ERREUR PROBABLE.
de la 1re série d'expérience...	2°,23	0°,16
2e — — ...	2°,06	0°,07
5e — — ...	2°,16	0°,22
6e — — ...	2°,14	0°,21
Moyenne générale...	2°,15	

La somme des déviations des lignes qui paraissent verticales à chaque œil, est donc

$$1^\circ,307 + 0^\circ,82 = 2^\circ,127,$$

ce qui diffère tellement peu de l'angle des lignes correspondantes qu'il en résulte que les lignes paraissant verticales, à vue d'œil, dans chaque champ visuel, sont aussi des lignes correspondantes, ce qui répond encore à notre proposition.

Sur l'invitation de Volkmann, M. Schweigger-Seidel a répété les expériences. Il trouva l'angle formé par les verticales apparentes avec les verticales véritables égal, pour son œil gauche, à 0°,663 et pour son œil droit, à 0°657. La somme de ces deux quantités est 1°,32. Avec ce nombre s'accorde assez bien l'angle trouvé par le même observateur entre les lignes correspondantes verticales apparentes, et qui était de 1°,44.

Volkmann a encore fait d'autres séries d'expériences où, le diamètre de l'un des disques étant horizontal, il cherchait à lui rendre perpendiculaire le diamètre de l'autre, dans l'image commune. — Ces expériences présentent également un accord satisfaisant avec les précédentes et avec notre proposition d'après laquelle les méridiens verticaux apparents sont des lignes correspondantes, et cette proposition elle-même rentre dans la proposition plus générale, énoncée encore plus haut, et d'après laquelle les lignes qui présentent les mêmes positions apparentes dans les champs visuels monoculaires sont des lignes correspondantes. En effet, dès qu'il est établi que les horizons rétiniens sont des lignes correspondantes, il faut que les lignes verticales apparentes, qui présentent la même position apparente par rapport à ces horizons et au point de fixation soient également des lignes correspondantes.

Dans les yeux normaux, l'angle des verticales apparentes paraît présenter la valeur à près constante d'environ 2 degrés $^1/_2$; pour les yeux myopes, je l'ai trouvé généralement bien moindre. E. Hering, qui est myope, l'a également trouvé à peu près nul pour ses yeux.

Dans les recherches théoriques sur le champ visuel monoculaire, nous avons trouvé que les procédés qui contribuaient à l'éducation de l'estimation oculaire, loin d'attribuer une valeur déterminée à cet angle, le laissaient, au contraire, indéterminé. Nous trouverons plus loin, dans l'étude de l'horoptère, des raisons qui paraissent en déterminer la valeur.

4. — *Sur les lignes verticales apparentes qui concordent, les points qui se trouvent à la même distance des horizons rétiniens sont concordants.* — Ici encore, nous pouvons profiter d'expériences exactes, dues à Volkmann. — Devant chaque œil, une croix rectangulaire était formée par l'horizontale *aa'* (fig. 203), et les verticales s et s', dont la distance doit être égale à l'intervalle des yeux de l'observateur. Au-dessous de la ligne horizontale, et du côté externe de chaque verticale, on avait tracé

deux autres horizontales, *b* et *b'*, dont l'une, *b*, était fixe, et l'autre, *b'*, mobile parallèlement à elle-même. L'observateur fixait les milieux des deux croix avec des lignes visuelles parallèles, de manière à en obtenir

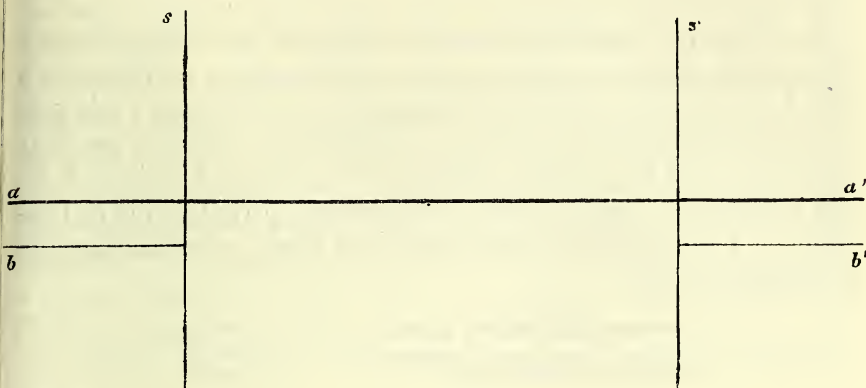


Fig. 203.

la fusion ; puis il déplaçait la ligne horizontale mobile *b'* de manière à l'amener sur le prolongement apparent de la ligne horizontale *b*, qui restait immobile dans l'autre champ visuel.

La moyenne de 30 expériences donna, pour la distance de la ligne horizontale mobile :

Horizontale mobile à droite..................	5,51
— — à gauche..................	5,47
Distance de l'horizontale fixe.................	5,50

La distance des lignes aux yeux était de 300^{mm} ; les différences entre les deux grandeurs comparées sont au-dessous des limites des distances perceptibles.

Les circonstances de la vision naturelle sont particulièrement favorables à la production d'une grande habileté dans la comparaison des distances verticales des deux champs visuels. — En effet, tant que le point de fixation se trouve dans le plan médian du corps et que, par conséquent, le regard est dirigé directement en avant, les points objectifs situés au-dessus et au-dessous du point de fixation peuvent bien se présenter dans des méridiens un peu disparates dans les deux yeux, mais la distance angulaire entre ces points et le point de fixation est nécessairement toujours la même dans les deux champs visuels, alors même que ces points sont bien plus rapprochés ou plus éloignés de l'œil que le point fixé ; aussi, toutes les fois que nous regardons droit devant nous, l'occasion se présente-t-elle de nous instruire sur les dimensions verticales qui se répondent dans les deux champs visuels. Nous verrons

plus loin, d'accord avec cette observation, qu'on reconnaît avec une facilité particulière les images doubles placées verticalement l'une au-dessus de l'autre.

5. — *Les points qui, dans les horizons rétiniens, sont à égale distance du point de fixation, sont des points correspondants.* — Volkmann a fait, à ce sujet, des expériences analogues aux précédentes, à cela près que les deux horizontales supplémentaires étaient remplacées par deux verticales, l'une fixe et l'autre mobile, situées chacune à droite de la ligne verticale de l'une des croix, et disposées de part et d'autre de l'horizontale. La moyenne de trente expériences donna, pour la distance de la verticale mobile :

Verticale mobile située à droite...........	$5^{mm},24$
— — — à gauche..........	$5^{mm},21$
Distance de la verticale fixe..............	$5^{mm},20$

Les différences sont donc, ici encore, moindres que les plus petites dimensions perceptibles. Par conséquent Volkmann exécutait encore cette détermination avec une très-grande exactitude.

Pour ma part, je trouve l'expérience ainsi disposée bien plus difficile à faire que celle des lignes horizontales parce que, pour moi, les lignes verticales de la croix, qui doivent être fixées, présentent une fusion stéréoscopique apparente, lors même que mes lignes de regard convergent ou divergent un peu plus qu'il ne faut pour une fusion exacte ; alors les verticales latérales oscillent de côté et d'autre, de sorte que je puis, à volonté, voir tantôt l'une, tantôt l'autre, se rapprocher davantage des verticales fixées. Cette expérience réussit chez moi d'une manière plus sûre lorsqu'on ne trace l'une des deux verticales fixées qu'au-dessus, et l'autre qu'au-dessous de l'horizontale.

La comparaison des distances horizontales dans les deux champs visuels ne peut donner, en général, un résultat constant que lorsqu'on la fait sur des objets infiniment éloignés, tels que l'horizon terrestre. La distance de deux points de l'horizon est nécessairement toujours la même dans les images des deux champs visuels, et c'est par la comparaison de ces images que nous pouvons apprendre quelles sont les distances horizontales qui sont égales dans champs visuels (et respectivement sur les deux rétines). Pour tous les objets rapprochés, la différence de perspective fait que ce n'est qu'exceptionnellement que deux points situés sur une même horizontale présentent la même distance angulaire dans les deux champs visuels. Aussi, trouvons-nous que des images doubles, situées sur la même horizontale, se fusionnent bien plus facilement et se reconnaissent plus difficilement comme distinctes, que ne font les

images superposées verticalement. Cependant, comme on le voit par les expériences de Volkmann, lorsqu'on répète très-fréquemment les expériences dans des conditions favorables, l'habitude qu'on a de comparer les deux champs visuels suffit pour reconnaître d'une manière assez exacte l'égalité ou l'inégalité de deux semblables distances. Il faut encore ajouter, cependant, que la disposition symétrique des deux yeux empêche l'erreur de se partager entre eux d'une manière non symétrique. Soient a et a_1 deux distances égales dans les moitiés externes des deux champs visuels, b et b_1 des distances égales aux précédentes, dans les moitiés internes ; à cause de la symétrie des yeux, nous n'avons aucun motif pour considérer a comme plus grand ou plus petit que a_1, ou b comme plus grand ou plus petit que b_1. Comme nous reconnaissons d'ailleurs, par l'estimation oculaire, les égalités $a=b$ et $a_1=b_1$, nous reconnaissons également, sans erreur, l'égalité des lignes correspondantes a et b_1, b et a_1.

Après avoir établi quelles sont les directions qui, dans les deux champs visuels, — et respectivement dans les deux rétines, — se répondent comme lignes horizontales apparentes correspondantes, ou comme verticales correspondantes ; après avoir établi aussi quelles sont les longueurs qui paraissent égales tant sur les premières que sur les secondes, nous possédons les éléments nécessaires pour pouvoir comparer les positions apparentes de tous les points des deux champs visuels monoculaires. Nous avons insisté plus haut sur ce point : il ne peut être question d'une comparaison exacte entre les positions des images doubles que pour les milieux des champs visuels, car, dans les parties périphériques, la détermination des points correspondants, aussi bien que l'évaluation oculaire des distances, est trop incertaine. Nous pourrons donc, dans la recherche que nous entreprenons, assimiler à un plan la partie du champ visuel voisine du centre, et dont nous avons à nous occuper exclusivement.

Soient o (fig. 204, p. 896), le point de fixation de l'œil droit sur la surface du papier, o' celui de l'œil gauche ; ak l'horizontale apparente, bl la verticale apparente pour l'œil droit ; $a'k'$ et $b'l'$ les mêmes lignes pour le gauche. Soient, de plus, $co = c'o'$ des longueurs égales prises sur les deux verticales apparentes ; ces deux lignes présentent également la même longueur apparente, et c et c' sont des points correspondants. Soient de même $do = d'o'$ des longueurs égales prises sur les horizontales apparentes. Menons par c et par c' les lignes ef et $e'f'$, respectivement parallèles à ak et à $a\ k$. Chaque point de f doit être, aussi bien en apparence qu'en réalité, à la même distance de ak que le point

c, puisqu'on peut exactement comparer, à vue d'œil, les distances des lignes parallèles. De même, chaque point de *e'f'* doit être à la même distance apparente de *a'k'* que le point *c'* ; comme les distances apparentes du point *c* à la ligne *ak* et de *c'* à *a'k'* sont supposées égales, les

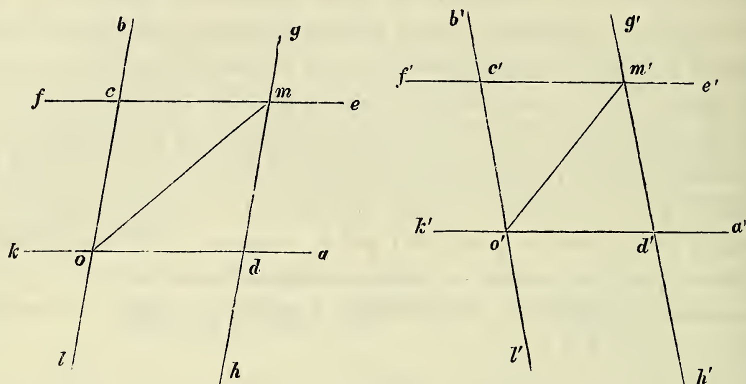


Fig. 204.

lignes *ef* et *e'f'* doivent apparaître dans les deux champs visuels comme des lignes horizontales qui sont à égale distance des horizons rétiniens, lesquels se correspondent ; ces lignes sont donc elles-mêmes des lignes correspondantes, en tant que la proposition énoncée plus haut est exacte, d'après laquelle tous les points qui ont la même position apparente dans les deux champs visuels sont des points correspondants.

Il s'ensuit également que les lignes *gh* et *g'h'* sont des lignes correspondantes, et enfin que les points *m* et *m'*, suivant lesquels *ef* et *e'f'* coupent *gh* et *g'h'*, sont des points correspondants.

On peut exprimer l'ensemble de ces conclusions en disant que, si l'on admet la validité du principe souvent répété, *les points correspondants dans les deux champs visuels sont ceux qui sont à des distances égales et également dirigées des lignes correspondantes horizontale et verticale apparentes.*

Pour soumettre cette proposition au contrôle de l'expérience, on peut employer les figures stéréoscopiques *D* (pl. VII). Pour éviter une fusion trop facile des lignes correspondantes, on a dessiné le côté droit avec des lignes blanches sur fond noir, et le côté gauche avec des lignes noires sur fond blanc. Les figures doivent être regardées avec des lignes de regard parallèles, de telle sorte qu'elles paraissent coïncider dans le champ visuel commun. Ceux qui n'y parviennent pas auront recours au stéréoscope. Le côté droit figure pour mon œil droit, et le côté gauche pour mon œil gauche, un treillis qui présente une apparence exacte-

ment rectangulaire ; j'espère qu'il en sera de même pour la plupart des lecteurs à vision normale. Dans le cas contraire, chacun doit préparer pour ses yeux des figures analogues, telles que les lignes horizontales ainsi que les verticales de chaque figure fassent, avec les lignes analogues de l'autre, les angles nécessaires pour que la superposition se produise lors de la position parallèle des lignes de regard. La distance des centres des deux figures doit être prise égale à celle des centres des yeux de l'observateur ; les distances des lignes horizontales, ainsi que celles des verticales, doivent être égales dans les deux figures.

Lorsque je fixe le milieu du treillis droit avec l'œil droit, et celui du treillis gauche avec l'œil gauche, toutes les lignes de l'un coïncident dans le champ visuel commun avec les lignes analogues de l'autre, ainsi qu'il est facile de s'en assurer, puisque les lignes noires du côté gauche ne se fusionnent pas facilement avec les lignes blanches du côté droit (1).

L'expérience faite avec la figure *D* (pl. VII) nous indique le moyen de trouver des points correspondants dans les deux yeux. — Qu'on dirige les lignes visuelles, parallèlement au plan médian, vers les milieux des deux figures, dont le plan doit être perpendiculaire aux lignes visuelles, et qu'on imagine des plans menés par les lignes horizontales des figures et par les points nodaux des yeux. Dans ces conditions, les plans qui passent par la ligne horizontale moyenne, qui contient le point de fixation, se confondent entre eux et avec les horizons rétiniens des deux yeux. Les autres plans se coupent entre eux, et ils rencontrent le plan de l'horizon rétinien suivant une même ligne horizontale, perpendiculaire à la ligne visuelle, et que nous nommerons *axe équatorial* de l'horizon rétinien. L'angle compris entre un de ces plans et le plan de l'horizon rétinien se nommera l'*angle de hauteur* de ce plan. Tous les points d'un semblable plan ont la même hauteur apparente au-dessus du plan de visée, si nous les supposons projetés sur un champ visuel infiniment éloigné ; pour cette raison, nous lui donnerons le nom de *plan d'égale hauteur angulaire*.

De même, figurons-nous des plans menés par chaque ligne verticale des figures et par le point nodal de l'œil correspondant. Celui de ces plans qui est au milieu et qui contient le point de fixation, est le plan du méridien vertical apparent, et il est rencontré par tous les autres

(1) Un observateur qui, comme M. E. Hering, craindrait d'être embrouillé par le grand nombre de lignes, peut faire facilement ces observations sur des systèmes de lignes moins compliqués ; c'est ce que j'ai d'ailleurs fait avant de construire les treillis décrits ici. Je n'avais pas cru devoir insister là-dessus dans mon mémoire sur l'horoptère, mais je dois le dire expressément ici, puisque cette omission a donné lieu à des critiques.

plans de ce genre, suivant une ligne perpendiculaire à la ligne visuelle, et que nous nommerons l'*axe équatorial du méridien vertical apparent*. Nous nommerons *angle de largeur*, l'angle compris entre un de ces plans et le plan du méridien vertical apparent ; dans les deux yeux, nous le prendrons positif vers la droite et négatif vers la gauche. Les plans qui comprennent l'angle de largeur se nommeront *plans d'égale largeur angulaire*.

Après avoir établi ces définitions, il est facile de trouver la position des points identiques dans les deux champs visuels. — Qu'on se figure des plans menés par le point en question du champ de vision et par les axes équatoriaux tant de l'horizon rétinien que du méridien vertical apparent ; on obtient ainsi la hauteur et la largeur angulaires relatives au point considéré. *Les points identiques dans les deux champs visuels, sont ceux qui ont même hauteur et même largeur angulaires.*

Cette définition des points identiques se fonde sur une expérience possible à exécuter directement. — Supposons que les deux figures qui représentent la distribution du champ de vision soient indéfiniment prolongées dans leur plan ; on obtient ainsi la distribution des points identiques jusqu'à 90° de part et d'autre de la ligne visuelle. C'est ce qui suffit amplement pour notre but ; car bien que le champ visuel de chaque œil s'étende un peu au delà de 90° du côté temporal, le champ binoculaire est bien plus petit, parce que le nez masque à l'autre œil ces parties extrêmes du champ. D'ailleurs la détermination expérimentale exacte des points identiques n'est possible que pour les parties des deux champs visuels qui sont assez rapprochées du point de fixation ; en effet, dans les régions plus périphériques, on ne distingue que d'une manière tellement vague la coïncidence et la non-coïncidence des objets vus indirectement, qu'on ne perçoit plus la présence des images doubles que lorsqu'elles sont très-loin l'une de l'autre.

Il faut encore remarquer que les points correspondants ne sont pas à la même distance du point de regard sur tous les méridiens correspondants des champs visuels, ainsi que cela a lieu sur les lignes correspondantes horizontale et verticale apparentes. Si, dans la figure 204 (p. 896), on mène les diagonales om et $o'm'$ qui joignent les points de fixation o et o' aux points correspondants m et m', la ligne om est plus longue que $o'm$, et cependant ce sont deux longueurs correspondantes situées sur des méridiens correspondants. Cette différence est faible d'ailleurs.

Désignant par a les longueurs $md = co = m'd' = c'o'$,

— par b les longueurs $mc = od = m'c' = o'd'$,

et par ε la quantité dont les angles *cod* et *c'o'k*, diffèrent de 90°, nous avons, pour les longueurs correspondantes :

$$mo = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \sin \varepsilon},$$
$$m'o' = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \sin \varepsilon}.$$

Leur différence présente sa valeur relativement la plus grande pour $a = b$; ces longueurs sont alors

$$mo = 2a \cos\left(45^0 - \frac{\varepsilon}{2}\right) \quad \text{et} \quad m'o' = 2a \cos\left(45^0 + \frac{\varepsilon}{2}\right).$$

Si, comme pour mes yeux, $\delta = 1^\circ\, 13'$, le rapport entre ces deux grandeurs sera 1 : 1,0215 ou bien 47 : 48.

Pour observer cette différence, je me suis servi du système des lignes de la figure 205. — L'œil droit fixe le point a' ; l'œil gauche le point a; les lignes *ac* et *a'c'*, ainsi que *ab* et *a'b'*, paraissent alors coïncider res-

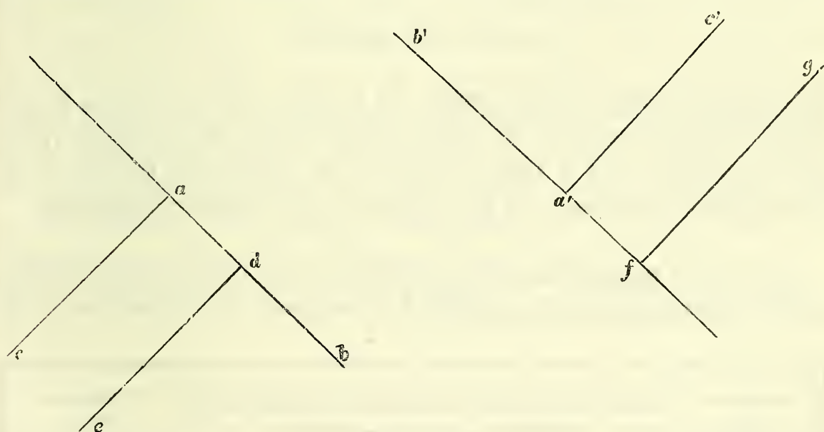


Fig. 205.

pectivement dans l'image binoculaire. La ligne *fg* est tracée sur une bande de papier qui est mobile autour du point éloigné *g*. L'expérience consiste, tandis qu'on fixe invariablement le point *aa'*, à disposer la ligne *gf* de telle façon qu'elle paraisse être le prolongement de la ligne *ed*. J'ai trouvé que je donnais à *a'f* une longueur d'environ 19^{mm},5, tandis que *ad* en avait 20. Il faut évidemment avoir soin que *ac* et *a'c'* ne cessent pas de paraître former une ligne non interrompue. La différence dont il s'agit ici est assez voisine des limites de la perceptibilité.

Je trouve que les différences dont je viens de parler sont encore perceptibles sur les deux systèmes des cercles concentriques *O* (pl. IX), dont l'un, à gauche, est formé de lignes noires sur fond blanc, et l'autre, à droite, de lignes blanches sur fond noir ; il suffit de les fusionner

en fixant invariablement les centres avec des lignes visuelles parallèles. Alors les lignes noires et blanches coïncident effectivement dans le méridien vertical et dans le méridien horizontal, mais elles viennent l'une à côté de l'autre dans les méridiens obliques ; les lignes noires sont en dehors, en haut et à droite, en bas et à gauche ; les blanches sont extérieures, en haut et à gauche, en bas et à droite. Le rayon dirigé de haut en bas et de droite à gauche dans le champ droit, devrait être plus long, en effet, que le rayon ayant la même direction dans le champ gauche, pour lui paraître égal. Par conséquent, le premier paraît plus court que le second.

Des considérations précédentes résulte encore une loi pour la grandeur des angles que font entre elles des lignes correspondantes différemment dirigées. Le calcul, qu'on trouvera plus loin, donne pour la différence angulaire Δ de deux méridiens correspondants, les lignes de regard étant parallèles, l'expression

$$\Delta = \gamma + 2\varepsilon \sin^2 \beta,$$

où γ désigne l'angle compris entre les horizons rétiniens dans la position indiquée des yeux, $2\,\varepsilon$ l'angle compris entre les méridiens verticaux apparents, et β la valeur moyenne de l'angle que forment, avec leurs horizons rétiniens, les deux lignes correspondantes à comparer.

Une série de mensurations, faites par Volkmann sur l'angle compris entre les méridiens correspondants (1), permettent de comparer cette formule avec l'ex-

INCLINAISON SUR LA VERTICALE, $90^\circ - \beta$.	ANGLE D'INTERSECTION DES MÉRIDIENS CORRESPONDANTS			DIFFÉRENCE ENTRE L'OBSERVATION ET LE CALCUL.
	MOYENNE OBSERVÉE	ERREUR PROBABLE.	VALEUR CALCULÉE.	
0°	2°,15	0°,106	2°,166	— 0,016
15°	1°,99	0°,064	2°,062	— 0,072
30°	1°,78	0°,195	1°,781	— 0,001
45°	1°,51	0°,075	1°,397	+ 0,113
60°	1°,15 (2)	0°,114	1°,013	+ 0,137
75°	0°,81	0°,084	0°,732	+ 0,078
90°	0°,46 (3)	0°,062	0°,628	— 0,168

$\gamma = 0°,628$ $2\delta = 1°,5375.$

(1) Expériences 100-112, dans le second fascicule de Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik, p. 202-213.

(2) Le chiffre de Volkmann, page 213, provient d'une faute de calcul.

(3) Moyenne des deux séries d'expériences 106 et 107.

périence. Dans ce tableau, les constantes γ et δ de la formule précédente ont été déduites de l'ensemble des observations, par la méthode des plus petits carrés. Les erreurs probables des moyennes des observations sont déduites des valeurs trouvées par Volkmann dans les différentes séries. On voit qu'en général, la différence entre le calcul et l'observation n'est pas plus grande que les erreurs probables qui se présentent dans de semblables séries d'observations; il est donc permis de considérer l'accord entre la théorie et les observations comme satisfaisant.

Après avoir déterminé la position des points correspondants dans les deux champs visuels, nous pouvons rechercher la position des points de l'espace qui se présentent sur des parties correspondantes des deux rétines et qui paraissent, par conséquent, simples. L'ensemble de ces points porte le nom d'*horoptère.* C'est, en général, une courbe à double courbure, qui peut être considérée comme étant l'intersection de deux surfaces du second degré (hyperboloïde à une nappe, cône ou cylindre). L'intersection de deux surfaces du second degré est en général une ligne du 4e degré, c'est-à-dire telle qu'un plan peut la rencontrer en quatre points. Mais, dans le cas qui nous occupe, les deux surfaces qui se coupent ont une ligne droite commune, qui n'est pas horoptère, et le reste de l'intersection est une *courbe du troisième degré*, c'est-à-dire qu'un plan quelconque ne peut la couper qu'en trois points. Cette courbe présente cette propriété remarquable que les lignes droites qui joignent un même point quelconque de cette courbe à tous ses autres points, forment un cône du second degré. Si l'on prend pour sommet du cône un point de la courbe qui soit infiniment éloigné (elle présente au moins deux branches infinies), le cône devient un cylindre dont la base est une courbe du second degré. Pour nous former une idée de la forme d'une semblable courbe du troisième degré, nous pouvons donc la supposer dessinée sur une surface cylindrique, laquelle serait déroulée ensuite sur un plan.

La ligne pleine *eabcf* (fig. 206, p. 902) représenterait alors la courbe. Supposons le papier enroulé en forme de cylindre à base circulaire, de manière que les lignes *gg* et *hh* coïncident, la courbe prendrait la forme d'une courbe du troisième degré. La courbe ponctuée désigne l'intersection du cylindre avec un plan (par ex. le plan de visée). Ce plan coupe la courbe du troisième degré en trois points *a*, *b*, *c*. Au delà des deux points *e* et *f*, la courbe se dirige vers l'infini en ayant pour asymptote unique la ligne *gg* ou *hh*.

Si nous considérons la courbe du troisième degré comme horoptérique, il faut qu'elle passe par les points de décussation des lignes de visée des deux yeux. — Soient *b* et *c* les positions des deux yeux, *a* le

point de fixation. La portion de courbe *bc*, située entre les deux yeux, est située dans l'intérieur de la tête et ne peut pas être considérée comme faisant partie de l'horoptère (du moins suivant la signification généralement attribuée à ce mot, et qui est conforme à la définition donnée plus haut) ; en effet, si les points de cette partie émettaient des rayons qui pussent véritablement pénétrer dans les deux yeux, ils se peindraient sur les parties externes des deux rétines, qui, par conséquent,

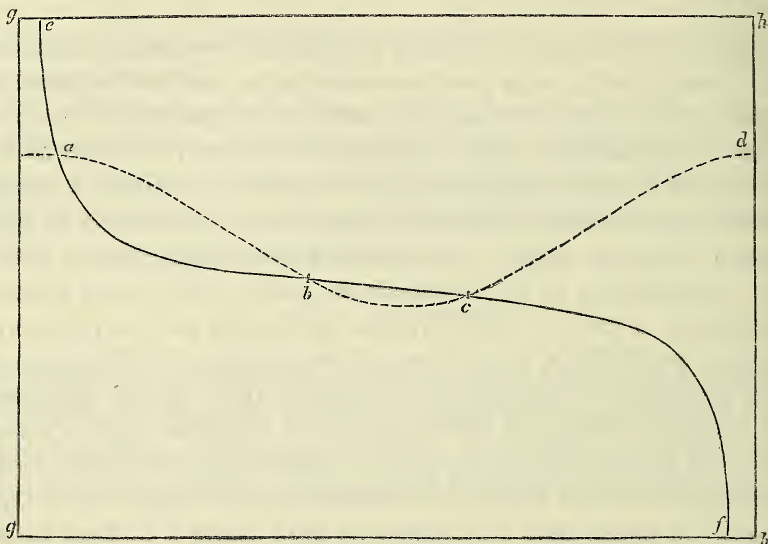


Fig. 206.

ne peuvent pas être correspondantes; d'ailleurs la détermination de l'horoptère ne présente aucune signification pratique pour les points très-rapprochés des yeux, qui n'y forment que de grandes images de diffusion. L'horoptère, considéré comme tel, se compose donc de deux branches séparées, *eb* et *fc*, portions de la courbe du troisième degré qui se trouvent entre les yeux et l'infini. Comme il est plus commode, pour l'étude géométrique, de considérer la courbe du troisième degré tout entière, nous la nommons *courbe horoptérique*, et nous réserverons le nom d'*horoptère* pour les parties de la courbe que l'on voit simples. Les lignes de visée correspondantes se coupent donc sur la courbe horoptérique, tantôt toutes les deux par leur partie antérieure, tantôt l'une ne rencontre l'autre que par son prolongement postérieur; les points où l'intersection se produit de cette manière n'appartiennent pas à l'horoptère.

Dans certaines conditions, la courbe horoptérique peut, du reste, se rapprocher suffisamment de son asymptote droite *gg* et de la ligne *ad*

réduite à une courbe plane du second degré, pour coïncider avec ces lignes. La courbe horoptérique se compose donc alors d'une ligne droite et d'une courbe plane du second degré, qui se coupent en un point. Les deux branches séparées de la courbe horoptérique se réunissent alors en ce point d'intersection. C'est ce qui arrive toutes les fois que les deux horizons rétiniens forment avec le plan de visée des angles égaux, mais de sens contraire, le point de fixation étant à une distance finie ; cette condition est satisfaite, à son tour, dans les yeux dont les mouvements suivent la loi de Listing, lorsque le point de fixation est, soit dans le plan médian de la tête, soit dans la position primaire du plan de visée. Dans le premier cas, le point de fixation se trouve sur la droite horoptérique, et, dans le second, sur la section conique qui, dans ces conditions, est un cercle : le cercle horoptérique de J. Müller. Enfin, lorsque le point de fixation est à la fois dans le plan médian de la tête et dans la position primaire du plan de visée, il est à l'intersection de la ligne droite et du cercle horoptérique. On trouvera plus loin, avec la théorie mathématique, des méthodes plus exactes pour la construction de la position des lignes horoptériques.

Dans un seul cas, l'horoptère est une surface, et cette surface est un plan : c'est lorsque le point de fixation se trouve dans le plan méridien et à une distance infinie, et que les horizons rétiniens sont situés alors dans le plan de visée, comme cela a lieu, au moins d'une manière très-approximative, dans les yeux à vision normale. Ce plan horoptérique est parallèle au plan de visée ; la distance qui l'en sépare dépend de la valeur de la divergence des méridiens verticaux apparents des deux champs visuels ; en effet, le plan horoptérique passe par la ligne d'intersection de ces deux plans méridiens ; pour les yeux normaux qui sont dirigés droit vers l'horizon, il se confond approximativement avec le sol sur lequel marche l'observateur, tandis qu'il est, le plus souvent, à une distance plus grande pour les myopes.

La distance entre les centres de mes yeux est de 68^{mm}, leur hauteur au-dessus du sol est de $1^{m},660$. Si l'on fait passer des plans par leurs centres et la ligne médiane du plan horizontal mené par mes pieds, ces plans se coupent suivant un angle de $2° 20' 48''$; l'angle compris entre mes méridiens verticaux apparents est de $2° 22'$. Pour le docteur Knapp, dont la vue est normale, la distance des yeux est de $62^{mm},5$ et leur hauteur au-dessus du sol de $1^{m},627$, ce qui répond à un angle de $2° 14' 20''$. L'observation a donné, en moyenne, $2° 8'$ pour l'angle des méridiens verticaux apparents. Chez M. le professeur Volkmann, dont les yeux, faiblement myopes, ont à peu près le même écartement et la même hauteur au-dessus du sol que les miens, la différence est un peu plus forte, puisque l'angle formé par les méridiens verticaux apparents n'est que de $2° 9'$. Chez

M. Dastich, la distance des yeux est de 62,8, leur hauteur, de $1^m,640$; l'angle correspondant serait de 2° 11′; l'angle de convergence des méridiens verticaux s'est trouvé plus considérable et mesurait de 2° 33′ à 2° 40′.

Je ne considère pas comme invraisemblable qu'on doive attribuer à cette circonstance la position oblique des méridiens verticaux apparents. — Nous avons vu plus haut que, dans le champ visuel monoculaire, l'estimation ne donne pas de base sûre pour déterminer leur position, parce que les angles dont les côtés ne présentent pas des directions concordantes ne peuvent pas être comparés par superposition avec les mêmes parties de la rétine. Lorsque nous nous servons des deux yeux, au contraire, et que nous les dirigeons vers des objets lointains, qui donnent seuls des résultats constants pour la comparaison des mensurations dans les deux champs visuels, nous voyons le plus souvent, au-dessus de l'horizon, le ciel, qui, pendant le jour, ne présente pas d'objet nettement dessiné, et, au-dessous, le sol, qui non-seulement présente un grand nombre de points visuels déterminés, mais dont l'observation indirecte est essentiellement nécessaire pour la sécurité de la marche. C'est à cet effet que les yeux normaux s'habituent sans doute à localiser pareillement les images des points rétiniens qui reçoivent ordinairement, dans la marche, l'image des mêmes points du sol. Les yeux myopes, qui ne voient pas distinctement le sol, échappant à cette influence, doivent se régler plutôt sur la vision des objets rapprochés, pour la production de leurs rapports d'identité.

Mentionnons encore que lorsqu'en maintenant droits le corps et la tête, on regarde un point du sol qui se trouve également dans le plan médian de la tête, le plan du sol n'est pas horoptère dans toute son étendue, mais que la ligne droite horoptérique est contenue tout entière dans ce plan.

Il paraît, d'ailleurs, exister des yeux pour lesquels les méridiens verticaux apparents ne sont pas tout à fait droits, mais présentent un faible renfoncement dans le voisinage du point de fixation, de manière que leurs moitiés supérieures font entre elles un angle plus petit que les moitiés inférieures. C'est de cette manière qu'un étudiant, très-exercé aux observations d'optique, m'a décrit ce qui existe pour ses yeux. Dans ce cas, l'influence du sol ne paraît s'être exercée que sur les parties inférieures des champs visuels (moitié supérieures des rétines), tandis que pour les autres parties, le besoin de voir droites les lignes droites ne passant qu'en seconde ligne, les nécessités de l'observation des surfaces verticales avaient produit un rapport d'identité différent.

Ce qui précède s'applique à l'horoptère comme lieu des points qu'on voit simples. Pour que des *lignes* soient vues simples, il suffit que les lignes qui les représentent sur les deux rétines soient correspondantes, sans qu'il soit nécessaire que les images se correspondent point par point. Lorsqu'une seconde image d'une ligne glisse suivant cette ligne elle-même, elle peut cependant coïncider, dans toute sa longueur, avec la première. C'est ainsi que les lignes droites peuvent glisser indéfiniment sur elles-mêmes. On appelle *horoptère de lignes*, la surface dans laquelle doivent être contenues les lignes droites de direction déterminée pour fournir ainsi deux images correspondantes. On appelle *horoptère des verticales*, cette surface relative à des lignes qui paraissent perpendiculaires aux horizons rétiniens dans les deux champs visuels; *horoptère des horizontales*, celle qui comprend les lignes qui paraissent parallèles aux horizons rétiniens. Un horoptère de lignes, pour des lignes dont les images sont parallèles est, en général, un hyperboloïde à une nappe qui, dans des cas particuliers, peut se transformer en un cylindre ou un cône. L'horoptère de lignes, relatif à un système de lignes droites qui se coupent en un point de la courbe horoptérique, est un cône du second degré qui joint le point d'intersection commun aux autres points de la courbe horoptérique.

En général, on voit simple toute ligne droite qui passe par deux points de la courbe horoptérique, et, par chaque point de l'espace, on peut faire passer au moins une ligne droite qui paraisse simple quand elle est vue binoculairement. Voici comment on trouve cette ligne. Du point dont il s'agit, on mène les lignes de visée qui le joignent aux deux yeux ; désignons l'une par a et l'autre b'. Dans le premier œil, il y a une ligne de visée b qui correspond à b' ; dans le second, une ligne a' qui correspond à a. Menons deux plans, l'un par a et b, et l'autre par a' et b' ; la ligne d'intersection de ces deux plans est la ligne demandée.

Je vais encore décrire les constructions à l'aide desquelles on peut trouver, dans les deux cas simples mentionnés plus haut, la position des *horoptères* des *horizontales* et des *verticales*, et, par suite aussi, la position de la courbe horoptérique, en admettant que les yeux de l'observateur obéissent à la loi de Listing, et ne présentent pas, dans la position primaire, d'aberration sensible des horizons rétiniens par rapport au plan de visée.

A. — *Le point de fixation est dans le plan médian.* — L'horoptère des verticales est un cône ; l'horoptère des horizontales se compose de deux plans qui se coupent, et la courbe horoptérique, d'une ligne droite et d'une section conique plane.

Supposons que, dans la figure 207 (p. 906), le plan du dessin se con-

fonde avec le plan médian de la tête de l'observateur, qui est debout, et que la position de la tête soit telle que la position primaire des lignes de regard soit horizontale et parallèle à *Ao*, le regard étant porté au loin. Soit *o* le milieu de la ligne qui joint les points de décussation des lignes de visée. Elevons en *o* la perpendiculaire *oa* sur la ligne *oA*, et

Fig. 207.

prolongeons-la jusqu'au point *a*, où se coupent les axes équatoriaux verticaux apparents, tels qu'ils sont placés dans la position primaire des lignes de regard. L'horoptère pour la direction visuelle *oA* est alors un plan horizontal *DE* mené par *a*. Comme on l'a déjà vu, ce plan se confond à peu près avec le sol, pour les yeux normaux.

Soit maintenant *B* un nouveau point de fixation, supposé contenu dans le plan du dessin, c'est-à-dire dans le plan médian de la tête de l'observateur. *Bo* est l'intersection du plan de visée avec le plan médian. Supposons construit, dans le plan de visée, le cercle de Müller qui passe par *B* et par les points de décussation des lignes de visée des deux yeux ; soit *Bp* son diamètre médian. Elevons sur *Bp* la perpendiculaire *pb* qui contient le sommet du cône horoptérique des verticales.

Pour trouver la position de ce sommet, servons-nous d'un troisième point de fixation *C*, choisi de telle façon que la ligne *Co'* soit la bissectrice de l'angle *Ao'B*, si nous désignons par *o'* le point de décussation des lignes de visée de l'un ou de l'autre œil, point qui se trouverait, par conséquent, un peu en avant ou en arrière du plan du dessin sur une perpendiculaire élevée en *o*.

Le plan de visée pour le point de fixation *C* est alors l'un des plans de l'horoptère des horizontales, relatif au point de fixation *B*. Le second plan de cet horoptère des horizontales est le plan médian. Trouvons,

dans le plan de visée mené par C, le cercle de Müller relatif à ce point, c'est-à-dire un cercle passant par le point de fixation et par les points de décussation des lignes de visée et dont le diamètre soit Cq. Alors, en regardant le point B, on verra simples : 1° toutes les lignes droites situées dans le plan Coo' ; 2° toutes les lignes droites contenues dans le plan médian et qui passent par le point q ; mais il faut remarquer que, pour ces dernières, l'image de leur extrémité la plus éloignée répond, dans un œil, à celle de l'extrémité la plus rapprochée, dans l'autre.

Elevons en q, sur Cq, une perpendiculaire qui coupe la ligne DE en c ; Bc est la ligne droite horoptérique, et le point f, intersection de Bc et de pb, est le sommet du cône horoptérique des verticales, qui est alors déterminé, parce qu'il passe par le cercle de Müller de diamètre Bp, contenu dans le plan de visée de l'observateur.

Ainsi, tandis qu'une des lignes de l'horoptère des points est la droite Bf, la seconde est l'ellipse suivant laquelle le cône coupe le plan Coo'.

La section Bp du cône est circulaire et fait un angle droit avec la génératrice pf du cône ; une section perpendiculaire à la génératrice diamétralement opposée Bf et coupant le plan médian suivant Go serait également circulaire. Les sections du cône qui passent par les centres des yeux et qui sont situées entre Bo et Go sont des ellipses à grand axe horizontal. Celles situées en dehors de l'angle BoG, comme Co, sont des ellipses à grand axe médian, et respectivement des paraboles ou des hyperboles, lorsqu'elles ne rencontrent la ligne Bf qu'au delà de f.

B. — *Le point de fixation est dans la position primaire du plan du regard.* — Dans ce cas, l'horoptère des verticales est un hyperboloïde qui coupe le plan de visée suivant un cercle (cercle horoptérique de Müller) mené par le point de fixation et par les points de décussation des lignes de visée. L'horoptère des horizontales se compose de deux plans dont l'un est le plan de visée, et l'autre lui est perpendiculaire. — La courbe horoptérique se compose du cercle de Müller et d'une ligne droite.

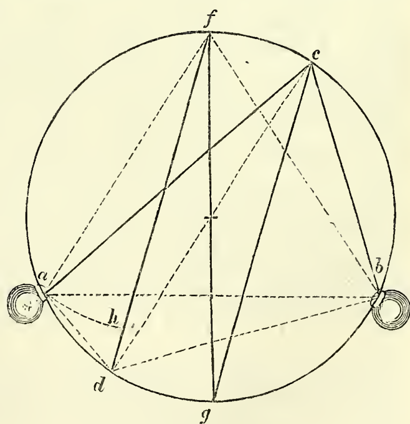


Fig. 208.

Soient a et b (fig. 208) les points de décussation des lignes de visée pour les deux yeux, c le point fixé ; le cercle mené par abc est le cercle horoptérique de Müller, qui con-

stitue une partie de la courbe horoptérique. Soit, de plus, *fg* la ligne médiane du plan de visée; la ligne droite horoptérique coupe le cercle en *f*, et par conséquent latéralement par rapport au point de fixation. Menons le diamètre *cd* et la ligne *fd*; par cette dernière, élevons un plan perpendiculaire au plan du cercle; c'est le second plan de l'horoptère des horizontales. Toutes les lignes droites situées dans ce plan, et qui passent par le point *d*, sont vues simples; il en est de même de toutes les droites situées dans le plan de visée.

Pour construire complétement la ligne droite horoptérique, prenons sur *fd* la longueur $fh = fa$, élevons en *h* une perpendiculaire au plan de visée; celle-ci coupe le plan du sol, c'est-à-dire le plan horoptérique infini relatif à la position primaire des lignes du regard, au même point que la ligne droite horoptérique, et cela suffit pour construire cette ligne.

Si l'aberration du méridien vertical apparent est nulle, la ligne droite horoptérique devient perpendiculaire au plan du cercle.

On peut trouver empiriquement la position de l'horoptère des lignes en disposant, en avant d'un fond sombre, un fil métallique droit et brillant ou un fil blanc bien tendu, de manière à le voir simple à travers deux verres de différentes couleurs, ou, mieux encore, de façon qu'on en voie deux images parallèles dès qu'on fait un peu varier la convergence des yeux. — Si, par exemple, on tient près des yeux un fil métallique vertical situé dans le plan médian de la tête, et qu'on en fixe le milieu avec une position horizontale du regard, on trouve que son extrémité supérieure paraît pencher un peu à gauche pour l'œil droit, à droite pour l'œil gauche. Si l'on fixe un point un peu plus éloigné que le milieu du fil métallique, on en voit deux images croisées qui divergent vers en haut; si l'on fixe un point un peu plus rapproché, le fil présente des images directes et qui divergent vers en bas. Pour voir le fil exactement simple à travers deux verres colorés, ou pour que les images doubles qu'il donne pour une variation de convergence soient exactement parallèles, il faut éloigner un peu son extrémité supérieure. Ce phénomène a été observé d'abord par Baum et employé par Meissner, comme on l'a vu plus haut, pour l'étude des torsions de l'œil. En effet, dès que la torsion modifie l'angle compris entre les lignes correspondantes verticales apparentes, il faut modifier l'inclinaison du fil par rapport au plan de visée pour qu'il paraisse simple. Plus le point de fixation est éloigné et plus le plan de regard est élevé, plus il faut incliner le fil par rapport à ce plan. Lorsque le regard est abaissé et que le point de fixation est voisin, le fil peut être perpendiculaire au plan

de regard, ou même se rapprocher de l'observateur par son extrémité supérieure.

Après avoir déterminé quelles sont les dimensions qui paraissent égales ou non dans les deux champs visuels, il nous reste encore à examiner l'*exactitude* de cette comparaison des deux champs visuels. — Comme il a déjà été expliqué au paragraphe précédent, cette exactitude est extrême lorsqu'il s'agit, comme dans l'usage ordinaire des yeux, de reconnaître des différences dans la troisième dimension des objets. La comparaison est au contraire relativement inexacte et soumise à toutes sortes d'illusions, lorsqu'il s'agit de distinguer des images doubles ou de comparer la position des images dans les deux champs visuels. Bien que cette opération paraisse être beaucoup plus simple, l'appréciation du relief stéréoscopique, qui se fonde en même temps sur une foule de données empruntées à l'expérience, se fait cependant avec une dextérité bien plus grande, parce qu'elle présente une importance pratique extrême, tandis que la perception des images doubles et de leur position relative ne concerne que les phénomènes qui accompagnent l'aspect des objets et nullement la perception des objets eux-mêmes. De même, nous comparons les dimensions réelles de deux objets différemment éloignés, avec bien plus de certitude que les angles visuels sous lesquels ils se présentent ; et cependant ces angles répondent immédiatement à des parties égales ou inégales de la rétine, tandis que la comparaison des dimensions véritables exige une longue habitude qui seule peut nous faire connaître l'influence de la distance sur la grandeur des images rétiniennes du même objet.

Quant à l'appréciation de la troisième dimension à l'aide de la vision binoculaire, sauf quelques illusions déjà mentionnées plus haut, et qui proviennent de l'appréciation erronée de la convergence des lignes visuelles, c'est pour les objets qui se trouvent dans l'horoptère et qu'on voit exactement simples, qu'elle se fait de la manière la plus précise. Elle est déjà moins exacte pour les points qui sortent de l'horoptère, mais sans s'en écarter suffisamment pour paraître doubles. Enfin l'exactitude est la plus faible pour les objets qui présentent des images doubles nettement distinctes, et cela d'autant plus que ces images sont plus écartées.

J'ai déjà fait remarquer ailleurs (1), et E. Hering (2) a constaté le fait, que les images doubles n'apparaissent nullement à la même dis-

(1) *Archiv für Ophthalmologie*, X, 1, p. 27.
(2) Beiträge zur Physiologie, Heft 5, p. 335.

tance que l'objet fixé, et qu'elles ne paraissent pas projetées, ainsi qu'on le croyait anciennement, sur une surface horoptérique qui passerait par le point de fixation binoculaire. Les images doubles paraissent, au contraire, à peu près à la même distance que l'objet véritable. On peut facilement s'en assurer par des expériences simples. Qu'on fixe bien invariablement un point du mur situé à quelques pieds de distance, et qu'on tienne verticalement devant la partie inférieure du visage une feuille de papier fort, de telle façon que son bord supérieur soit à quelques pouces des yeux et à peu près à la même hauteur. Dans cette disposition, l'écran de papier masque tous les objets situés au-dessous du plan de visée de l'observateur. Alors un aide, placé latéralement, élève à une distance inconnue à l'observateur, une aiguille à tricoter dont l'extrémité supérieure, au moment où elle devient visible pour l'observateur, ne lui présente d'abord que des images doubles lorsqu'il fixe imperturbablement le point du mur. L'observateur ne s'en forme pas moins une représentation de la distance de l'aiguille, alors même qu'il n'a pas cessé de fixer le point du mur et n'a pas vu un instant l'aiguille simple. Pour s'en assurer, qu'on cherche à saisir la partie cachée de l'aiguille, de telle façon que la main elle-même reste cachée derrière l'écran. Dès le premier essai, on la touche ou du moins on en passe très-près. Pour que l'épaisseur apparente de la tige ne donne à l'observateur aucune appréciation sur sa distance, ce qui n'est pourtant guère à craindre, on peut laisser choisir cet objet à l'aide, dans une collection d'aiguilles de grosseur différente.

Les expériences avec les objets stéréoscopiques mobiles, qui paraissent changer de distance par rapport à l'observateur, comme dans l'instrument de Halske qui a été décrit plus plus haut (p. 869), donnent encore souvent lieu à des images doubles nettement distinctes ; cela se produit surtout lorsque le mouvement est trop rapide pour être suivi par les lignes de regard ; cependant l'illusion sur le mouvement apparent suivant la troisième dimension n'en souffre aucunement.

La perception binoculaire de la troisième dimension ne cesse d'avoir lieu que pour des images doubles très-écartées que donnent, par exemple, les objets très-éloignés lorsqu'on fixe un objet rapproché, et pour lesquelles on reconnaît à peine la correspondance de deux images; dans ce cas, on peut, comme dans la vision monoculaire, comparer la grandeur angulaire de l'objet éloigné avec celle de l'objet fixé. Mais comme on connaît la vraie grandeur linéaire de l'objet fixé, celle-ci devient involontairement le point de comparaison pour la grandeur de l'image de l'objet éloigné. C'est ainsi que l'observateur qui, se tenant à la fenêtre, ne cesse pas de regarder son doigt, voit la dimension des maisons si-

tuées de l'autre côté de la rue augmenter ou diminuer, suivant qu'il éloigne ou qu'il rapproche son doigt. Dans le premier cas, la grandeur angulaire du doigt diminue ; la grandeur angulaire des maisons devient donc plus grande relativement à celle-là ; or, le doigt sert de mesure constante parce que sa grandeur linéaire et sa distance ne cessent pas d'être perçues nettement, au contraire de ce qui a lieu pour les maisons éloignées.

De même qu'on remarque facilement l'incertitude croissante de la perception binoculaire de la troisième dimension des objets dont les images doubles sont éloignées l'une de l'autre, de même on peut démontrer, pour les objets qui sont vus plus ou moins parfaitement simples, que leur relief se distingue d'autant plus exactement que ces objets s'éloignent moins de l'horoptère, — toujours en faisant abstraction des illusions particulières dont il a été question plus haut.

Pour démontrer qu'il en est ainsi pour la ligne droite horoptérique, prenons une aiguille à tricoter mince et droite, et ployons-la très-peu en son milieu, de manière à former entre ses deux moitiés un angle d'environ 175°. Tenons-la devant nous de manière que les deux côtés de cet angle soient compris dans le plan médian de la tête, position où cette aiguille paraîtrait rectiligne pour un œil situé à la racine du nez de l'observateur, et où, pour chacun des yeux réels, la faible courbure de l'aiguille est imperceptible à cause du raccourci sous lequel cet objet apparaît. Cependant, si l'on regarde simultanément avec les deux yeux, on reconnaît la courbure de l'aiguille, pourvu qu'elle soit à peu près située sur la ligne droite horoptérique et qu'elle présente, par conséquent, des doubles images sensiblement parallèles lorsqu'on fixe un point un peu plus éloigné ou plus rapproché. On ne reconnaît pas, au contraire, la courbure de l'aiguille lorsqu'on lui donne, dans le plan médian, une position où elle forme un angle notable avec la ligne droite horoptérique.

Pour le cercle horoptérique de Müller, j'ai disposé l'expérience de la manière suivante : Je plaçai deux petites planchettes, l'une à côté de l'autre, sur une table près du bord de laquelle étaient situés mes yeux. Dans l'une des planchettes étaient plantées, l'une à côté de l'autre, à environ un centimètre de distance, deux épingles longues et minces, et dans la seconde une épingle pareille aux deux autres. Les planchettes étaient placées l'une à côté de l'autre, de telle façon que les trois épingles fussent à peu près à la même distance de l'observateur, les deux extrêmes étant également éloignées de l'épingle moyenne. Un écran convenablement disposé m'empêchait de voir plus que les têtes et les parties supérieures de trois épingles, qui étaient à environ 50 centi-

mètres de mes yeux. Je recherchais alors de combien je pouvais avancer ou reculer l'épingle moyenne, sans remarquer que les trois têtes n'étaient plus dans un plan, mais formaient une courbe. Je trouvai qu'il suffisait d'un déplacement de la demi-épaisseur d'une épingle, c'est-à-dire d'environ un quart de millimètre. La différence angulaire de la position de l'épingle moyenne par rapport aux deux autres, n'était alors que de 21 secondes. Mais pour atteindre une aussi grande exactitude, il fallait donner à la ligne d'épingles une position qui coïncidât avec celle du cercle horoptérique en cet endroit. C'est ainsi que lorsque les épingles étaient juste en face de moi, la moyenne dans le plan médian de ma tête, les deux latérales à la même distance de moi, je jugeais avec une grande exactitude si elles étaient ou non dans un même plan. Mais si l'épingle de droite était un peu plus rapprochée, et celle de gauche un peu plus éloignée de moi, j'avais bien plus de peine à distinguer si elles étaient en ligne droite ou sur une courbe. Lorsque l'épingle du milieu était à droite du plan médian de la tête, endroit où la direction du cercle horoptérique se rapproche de la droite de l'observateur, j'étais obligé de rapprocher l'épingle de droite un peu plus que celle de gauche pour obtenir le degré de certitude le plus grand possible dans l'application du relief que formaient les lignes d'épingles. Si, dans cette position, la ligne d'épingles était perpendiculaire à la direction du regard, il était bien plus difficile de percevoir si elle formait une courbe ou une ligne droite. Le cas le plus favorable était donc toujours celui où la direction de la ligne d'épingles répondait à celle de la tangente au cercle horoptérique (1).

Il faut remarquer que, dans cette expérience, il ne faut pas mettre les épingles trop loin les unes des autres, pour ne pas tomber dans l'illusion déjà décrite, qui porte à prendre pour une ligne droite un arc horizontal dont la concavité est dirigée vers l'observateur. Avec les distances indiquées ici pour les épingles, la flèche de l'arc qui paraît droit mesurerait, pour la plupart des yeux, moins de $0^{mm},1$; elle serait donc bien plus petite que les déplacements perceptibles (2). Même pour les grandes distances des épingles, pour lesquelles l'illusion peut se produire, on trouvera que les limites des déplacements qui font croire qu'on a affaire à un arc convexe ou concave sont bien plus resserrées

---

(1) M. E. Hering s'est complétement mépris, dans sa critique, sur le sens de cette expérience.

(2) Dans mon travail antérieur, j'avais dit qu'un arc dont la courbure répond à peu près à celle du cercle horoptérique, paraît droit; c'est une erreur qui provenait de ce que les mensurations avaient été faites avec des épingles trop rapprochées; l'arc paraît en réalité bien moins courbe que celui du cercle horoptérique.

lorsque la ligne d'épingles suit la direction du cercle horoptérique que lorsqu'elle forme un angle avec cette direction.

Quand nous regardons droit devant nous vers un point de l'horizon, l'horoptère est un plan horizontal situé au-dessous du plan de visée et qui, pour les yeux normaux, paraît coïncider, en général, plus ou moins complétement avec le plan du sol où se tient l'observateur. Si nous fixons un point situé sur la ligne médiane du plan du sol, ce plan n'est pas compris entièrement, il est vrai, dans l'horoptère, mais le sol contient la ligne droite horoptérique tout entière. Je peux observer, en effet, sur le plan du sol, des phénomènes d'où l'on peut conclure que, dans ce cas encore, l'appréciation du relief de ce plan est particulièrement exacte, parce qu'il appartient à la surface horoptérique. Pour s'en assurer, qu'on examine d'abord, de la manière ordinaire, le relief du sol, en se tenant debout. On voit cette surface, avec ses inégalités, présenter une position nettement horizontale, jusqu'à une assez grande distance. Regardons ensuite la même surface en faisant passer la tête sous le bras ou entre les jambes, mais après être monté sur une pierre, par exemple, de façon que la hauteur de la tête au-dessus du sol horizontal soit sensiblement la même qu'auparavant. Les parties éloignées du sol ne paraissent plus horizontales alors ; elles présentent l'aspect d'un mur peint sur la surface du ciel. J'ai fait un grand nombre d'observations de ce genre sur la route qui conduit de Heidelberg à Mannheim. La plaine qui s'étendait devant moi était coupée par le Neckar, et se prolongeait jusqu'au mont Oelberg, près de Schriesheim, à une distance de 6 ou 8 kilomètres. En tenant la tête droite, je reconnaissais parfaitement la largeur de la plaine située au delà de la rivière ; en la tenant inclinée ou renversée, le terrain me paraissait monter directement depuis le lit de la rivière jusqu'au sommet de l'Oelberg. Une haie, qu'un champ séparait d'une maison plus éloignée, paraissait assez loin de la maison quand je tenais la tête droite, tandis que, dès que je l'inclinais, la haie venait se placer tout contre la maison, et ainsi de suite. Je distinguais aussi beaucoup mieux le relief des petites inégalités de la route quand je tenais la tête dans sa position naturelle.

Tous ces phénomènes se produisent de la même manière, lorsqu'au lieu de renverser la tête on renverse l'image.—A cet effet, le plus commode est d'employer des prismes rectangulaires à hypoténuse placée horizontalement, et à travers lesquels, comme on l'a vu page 618, on voit les objets renversés. Je collai sur une planchette deux semblables prismes, à une distance égale à celle de mes yeux, et, à travers ces prismes, j'observai le paysage. Le relief stéréoscopique du sol disparaissait comme lorsqu'on regarde à travers les jambes. En revanche on

voit souvent mieux le relief des nuages peu élevés à travers ces prismes qu'à l'œil nu, parce que les nuages, vus à travers les prismes, viennent se placer dans le plan du sol.

Lorsque enfin on regarde le paysage à travers les prismes renversants pendant qu'on met la tête entre les jambes, on voit de nouveau nettement le relief du sol, comme dans la vision naturelle. Dans ce cas, l'image réfléchie du sol est encore dans l'horoptère des yeux renversés. Cette dernière expérience prouve bien que ni la position insolite de la tête, ni la position inaccoutumée de l'image, ne sont par elles-mêmes les causes de l'inexactitude avec laquelle on perçoit la troisième dimension; mais que c'est la position renversée de l'image par rapport aux yeux.

Avec ce fait s'accorde l'assertion de M. E. Hering (1), chez qui l'aberration du méridien vertical apparent est très-faible, et qui assure ne pas voir autrement avec les deux yeux qu'avec un seul, les parties du sol situées au loin.

Il est facile de concevoir combien la perception exacte du relief du sol est nécessaire pendant la marche. — Le plus souvent nous avançons sans regarder le sol, et cependant nous sommes suffisamment renseignés sur les petites inégalités de sa forme. J'ai éprouvé souvent, dans ces derniers temps, l'inconvénient que peut produire un tout petit déplacement apparent de l'image du terrain. Etant un peu myope, je portais, pendant un voyage dans les montagnes, des verres concaves très-faibles (un pince-nez de 36 pouces de distance focale) pour mieux voir au loin. J'ai fait disposer les verres de telle sorte que leurs centres optiques présentent le même écartement que mes yeux; il en résulte que les objets éloignés, vus à travers les centres des verres, ne présentent pas de déplacement sensible en profondeur, comme cela a lieu lorsque les centres des verres sont trop rapprochés. Cependant il se produit un petit déplacement des objets vus à travers la partie inférieure des verres, parce que les axes de ces verres ne sont pas maintenus complétement parallèles par le ressort qui les joint, et lorsque je regarde attentivement le sol, celui-ci paraît présenter tout près de mes pieds une légère surélévation qui provient d'un faux effet stéréoscopique des verres. Bien que cet effet soit tellement faible, qu'on ne peut le remarquer qu'à l'aide d'une observation attentive, je n'en suis pas moins dans l'impossibilité de me servir de mes verres lorsque je veux descendre rapidement un sentier raboteux, ce qui exige de poser les

(1) Beiträge zur Physiologie, Heft 5, p. 355. — Il est à peine besoin de dire que, contrairement aux déductions qu'il tire de sa théorie, le sol ne me présente pas l'aspect d'un plan vertical.

pieds exactement aux endroits voulus, sans avoir le temps de regarder chaque pierre sur laquelle on va marcher et d'en apprécier la distance. Bien qu'avec les verres je voie les pierres un peu plus nettement qu'à l'œil nu, je marche cependant bien plus sûrement sans m'en servir. Cette expérience a été pour moi une preuve frappante de l'exactitude et de la rapidité avec laquelle se produit, par suite de l'habitude, l'association entre les sensations et les mouvements.

Javal me fait observer que la modification du déplacement angulaire des objets pendant la marche contribue aussi pour beaucoup à la difficulté qu'éprouvent à se conduire dans la rue avec des lunettes les personnes qui n'ont pas l'habitude de corriger leur amétropie. C'est ainsi que cet observateur me fait part de la remarque suivante. En marchant avec un pince-nez correcteur de sa légère hypermétropie, il éprouvait d'abord le même sentiment que s'il se promenait sur des échasses : les verres convexes, en augmentant la vitesse angulaire apparente des anfractuosités du sol, laissent en effet le choix de croire que l'on marche plus vite ou que l'on se trouve plus loin de terre, et c'est cette dernière illusion qui se produit. En marchant avec des lunettes convexes, l'effet produit est inverse : les verres étant plus loin des yeux, le sol est vu sans leur intermédiaire, et dès qu'on s'est habitué à juger correctement à travers les verres la position des objets éloignés, on se trompe sur celle des pierres du chemin, et l'on est tenté à chaque instant de lever le pied, comme pour monter sur une marche d'escalier. On finit cependant bientôt par surmonter l'illusion produite par l'usage du pince-nez, ou même celle, plus compliquée, que produisent les lunettes ; on parvient, après quelque temps, à mettre ou à ôter les verres à chaque instant sans en éprouver aucun embarras. — Il est clair que les choses doivent se passer d'une manière analogue, mais inverse, pour les verres concaves.

Il me semble également que la modification apparente que subissent les couleurs du paysage lorsqu'on met la tête dans une position inaccoutumée, est en rapport avec la modification du relief qui se produit alors. — Tant que nous percevons nettement la troisième dimension des objets, les modifications que l'air interposé fait subir à leur coloration sont les attributs naturels et ordinaires de la distance, et ne se font, par conséquent, pas remarquer en elles-mêmes. Mais dès que nous modifions l'effet du relief en renversant la tête ou l'image et que le paysage nous apparaît comme un tableau plan, notre attention est particulièrement attirée par les colorations. Dans l'observation monoculaire du paysage, il se manifeste également une faible différence entre l'effet obtenu lorsque la tête est droite ou lorsqu'on regarde par-dessous le bras ;

cette différence me paraît provenir de ce que la partie supérieure de la rétine est fatiguée pour le vert du sol, et la partie inférieure pour le bleu du ciel, et que, pour cette raison, les couleurs deviennent un peu plus vives lorsqu'elles tombent sur d'autres parties de la rétine. Mais ce n'est qu'à la vision binoculaire que je vois ressortir bien nettement de la manière indiquée les tons que la perspective aérienne répand sur les objets éloignés. Il est encore à remarquer qu'à cet égard encore M. Hering assure ne trouver aucune différence entre l'observation monoculaire et l'observation binoculaire.

La raison de cette exactitude particulière que présente le relief dans l'horoptère, me paraît résider, ainsi que l'admet également E. Hering, dans la loi psychophysique de Fechner.—Pour les objets situés dans l'horoptère, les distances apparentes des divers points au point de fixation sont les mêmes ; nous reconnaissons facilement et d'une manière exacte les moindres irrégularités qui se présentent par rapport à cette égalité. Elles répondent à une position du point objectif extérieure à l'horoptère. Mais lorsqu'il s'agit de reconnaître la forme d'objets qui ne sont pas situés dans l'horoptère, il n'y a plus seulement à tenir compte d'une différence qui peut exister entre les deux images : il faut apprécier, de plus, les distances qui séparent les deux images de chaque point de l'objet. D'après notre opinion, les points rétiniens correspondants sont ceux dont la position relative a été le plus souvent comparée expérimentalement ; d'après l'hypothèse anatomique, ce sont ceux qui présentent une connexion naturelle dans leur localisation. Dans les deux hypothèses, on comprend également que la comparaison des images correspondantes, ou à peu près correspondantes, se fasse plus facilement et avec plus de certitude que celle des images disparates.

C'est pour cette raison aussi que nous avons l'habitude involontaire d'amener autant que possible, dans l'horoptère, les objets que nous voulons voir d'une manière exacte et commode. Si, en tenant le plus commodément possible le livre dans lequel on lit, on vient à se procurer des images doubles et peu éloignées des lignes verticales, on les trouve parallèles ; par conséquent, la ligne horoptérique verticale est située dans le plan du papier. Les lignes horizontales du papier sortent assurément de l'horoptère pour les yeux disposés convenablement pour l'observation d'objets éloignés. C'est peut-être pour cette raison que les peuples européens ont donné une si grande prédominance aux lignes verticales dans la forme de leurs caractères d'impression et d'écriture.

Le second mode de comparaison des deux champs visuels consiste à tenir compte de la disposition apparente des objets dans le champ com-

mun de la vision et à essayer de percevoir les *images doubles.* — J'ai déjà dit plus haut qu'en général c'est seulement au milieu des champs visuels qu'on reconnaît bien les images doubles, tandis qu'à la périphérie on rencontre de très-grossières inexactitudes. Mais la circonstance la plus importante qui nous empêche de percevoir la différence de position des deux images doubles d'un seul et même objet, c'est la représentation que nous nous faisons de l'unité de cet objet. Si, ainsi que nous avons cherché à l'établir, les mensurations du champ visuel reposent sur une estimation à vue d'œil acquise par l'habitude, la perception des images doubles se fonde également sur l'estimation ; aussi cette perception peut-elle, comme toutes les estimations oculaires, être sujette à erreurs excessivement grandes par l'effet d'influences psychiques de toute espèce, et, en particulier, par celle qui nous impose l'idée, vraie ou fausse, que les deux images appartiennent à un seul et même objet. C'est pour cette raison que la dissemblance des deux images nous échappe avec une facilité bien plus grande lorsque ces images sont relatives à un même objet réel, tant que cette différence n'est pas trop considérable et trop frappante ; c'est pour la même cause encore que la plupart des personnes n'ont jamais remarqué les doubles images, bien que la présence de ces images soit à peu près continuelle dans le champ de la vision. Il nous est difficile également de dissocier les images doubles des lignes de même couleur et de même intensité, lorsque celles-ci sont tracées de manière à représenter à peu près exactement les images d'une seule et même ligne objective. Mais ce sont les mouvements de l'œil qui donnent le principal obstacle à la perception des images doubles. Lorsque nous examinons un objet, nous fixons successivement différents points de sa surface de telle façon que les fossettes rétiniennes reçoivent constamment des images correspondantes. Ces images sont à la fois celles qu'on perçoit avec le plus de netteté et qui attirent le plus l'attention. Dès que notre attention commence à se porter sur un point de l'objet qui soit situé latéralement, et qui présente peut-être des images doubles, nos yeux se mettent presque involontairement à le fixer, ce que nous ne pouvons empêcher qu'en y apportant un effort d'attention tout particulier.

Aussi, pour distinguer le mieux possible des images doubles, faut-il d'abord éviter les mouvements des yeux et s'assurer un point de fixation bien déterminé. En second lieu, il est bon de donner, aux images à distinguer, des colorations ou des intensités différentes, ce qui rend difficile ou impossible leur interprétation comme images d'un même objet. En troisième lieu, on peut souvent produire toutes sortes d'autres différences entre les images, soit en les couvrant partiellement, soit

en y ajoutant des points de repère dissemblables, afin d'attirer l'attention de l'observateur sur les différences qu'elles présentent, ce qui permet d'amener à une assez grande délicatesse la distinction des images doubles.

On a vu plus haut, à l'occasion de la recherche des positions des lignes et des points correspondants, les méthodes à l'aide desquelles on peut éviter les difficultés en question, et obtenir la plus grande exactitude possible dans la comparaison des égalités apparentes que présentent les deux champs visuels. Mais lors même qu'on emploie les meilleures méthodes, la comparaison des grandeurs correspondantes des deux champs visuels est bien plus imparfaite que celle des dimensions analogues dans le même champ.

Les expériences de Volkmann, qui ont été décrites plus haut, sont très-propres à nous donner, à cet égard, des nombres déterminés. — Dans celles qui ont été faites suivant le schéma de la figure 203 et décrites page 892, il compara les distances verticales entre deux couples de lignes horizontales situés respectivement dans le champ visuel droit, à droite de la ligne médiane, et dans le champ visuel gauche, à gauche de la ligne médiane. Dans le champ de vision commun, les deux couples paraissaient se rejoindre sur la ligne médiane. Dans l'un, la distance des lignes était fixe et de $5^{mm},5$. La moyenne de trente observations de ce genre, où Volkmann cherchait à rendre l'intervalle variable du second couple égal à celui du premier, donna des nombres qui s'accordaient assez bien et ne s'écartaient de la valeur réelle que de $0^{mm},01$ et de $0^{mm},03$. Mais si l'on considère les observations une à une, on trouve que, dans la première série (horizontale mobile à droite), il avait trouvé successivement égales à $5^{mm},5$ des distances de 6,0, puis de 5,0 ; de même, la seconde série présente des observations qui ont donné 5,0 et 5,85. Dans d'autres séries où les lignes étaient verticales, on trouve 5,55 et 4,75, puis 5,55 et 4,85, pour des distances qui furent jugées égales à 5,2.

Il serait assurément tout à fait impossible de commettre des erreurs aussi considérables si les deux couples de lignes étaient juxtaposés dans le même champ visuel. La difficulté de la comparaison binoculaire me paraît provenir principalement de ce que la fixation est difficile à maintenir bien invariable, et que, pour cette raison, les deux champs visuels présentent continuellement de petites oscillations dans leur mode de coïncidence. Pour m'en assurer, j'ai dessiné, sur une feuille de papier, deux lignes parallèles à $5^{mm},5$ d'intervalle et allant jusqu'au bord ; j'ai tracé, de même, sur une seconde feuille, deux lignes faiblement convergentes, dont la distance était de 4,5 à l'un des bords du papier, et

de 6,5 à l'autre; je posai ensuite la première feuille sur la seconde, de telle façon que les lignes convergentes fussent encore en partie visibles, et parussent être les prolongements des lignes parallèles. Imitant alors les oscillations des champs visuels en donnant un mouvement de va-et-vient à la feuille supérieure, je cherchai à déterminer *avec un seul œil*, si les lignes convergentes présentaient, sur le bord du papier où on les voyait paraître, le même intervalle que les lignes parallèles. Dans cette expérience, les deux couples de lignes apparaissaient donc dans le même champ visuel, et l'on imitait, par les mouvements de l'un des deux, les oscillations des axes oculaires qui accompagnent la vision binoculaire. D'un autre côté, je pouvais recouvrir d'un papier blanc une partie du couple de lignes convergentes, puis, comme dans les expériences de Volkmann, en amener, à la vision binoculaire, la partie visible au contact du couple de lignes parallèles; de sorte que, dans le champ de vision commun, les deux couples étaient contigus et paraissaient être le prolongement l'un de l'autre. Cette méthode est un peu plus avantageuse que celle de Volkmann, chez qui une ligne de chaque couple était tracée tout entière et se fusionnait avec la ligne correspondante de l'autre; dans mes expériences, au contraire, comme dans celle décrite page 899, et faite d'après le schéma de la figure 205, il n'y avait aucune fusion, mais seulement continuation apparente des deux lignes. Il se trouva que les différences de 1/2 millimètre dans les distances des deux couples de lignes apparaissaient aussitôt, et que des différences de 1/4 de millimètre n'échappaient guère. Il résulta de ces expériences que la comparaison des distances correspondantes réussissait presque aussi bien chez moi à la vision binoculaire qu'à la vision monoculaire, à condition d'imiter, dans ce dernier cas, les déplacements relatifs des deux champs visuels par un mouvement oscillatoire continuel de l'un des dessins.

Les erreurs atteignirent également des valeurs très-considérables dans les expériences où Volkmann comparait la direction d'une ligne située dans l'un des champs visuels avec celle d'une ligne située dans l'autre. Dans ce cas, les différents chiffres s'écartent souvent de la moyenne, d'un demi-degré et parfois d'un degré, en plus ou en moins. Mais il est tout à fait impossible de considérer comme formant une ligne droite deux lignes qui comprennent, dans le champ visuel monoculaire, un angle de 179°; on néglige même difficilement la déviation de deux lignes qui forment un angle de 179° 1/2. Il serait encore plus impossible de considérer comme parallèles deux lignes situées l'une à côté de l'autre dans le champ monoculaire, et qui formeraient entre elles un angle d'un degré ou d'un demi-degré. Si des aberrations de cette importance passent inaperçues dans la comparaison des deux champs

visuels, cela me paraît devoir provenir des oscillations que présentent les torsions dans les deux yeux, et que l'on peut percevoir à l'aide des images accidentelles, ainsi que je l'ai fait remarquer plus haut. Il n'y a rien d'extraordinaire à ce que les moyennes d'un grand nombre d'expériences puissent donner un résultat très-exact, malgré ces oscillations qui accompagnent chacune d'elles.

D'après ce qui précède, il est assez naturel d'admettre que si l'appréciation de la troisième dimension des objets réels est susceptible d'une exactitude bien plus grande, cela tient à ce que nous sommes infiniment plus habitués à parcourir du regard les contours d'un objet réel vu binoculairement, qu'à maintenir une fixation invariable, en présence d'images dissemblables des deux rétines.

Sous ce rapport, je dois appeler l'attention sur un fait que j'ai souvent observé. Lorsque j'ai devant les yeux un dessin stéréoscopique difficile à fusionner, je ne parviens que péniblement à faire coïncider les lignes et les points analogues, et ils se séparent de nouveau à chaque mouvement des yeux. Mais dès que j'ai acquis une notion bien vive de la forme représentée par le dessin, ce qui arrive souvent tout à coup, par suite d'une heureuse interprétation, je puis promener en toute assurance mes yeux sur la figure, sans crainte de voir les deux images se séparer de nouveau. La nature de la forme de l'objet commande la règle du genre de mouvement que doivent exécuter les lignes de regard pour l'examiner ; on peut même, ce me semble, se demander, avec quelque raison, si la notion visuelle de la forme d'un corps présente, en somme, une existence réelle autre que de s'offrir à nous comme une règle des mouvements des yeux. Nous devons, du moins, donner à cette question une réponse négative, si nous considérons la mensuration des champs visuels comme étant le résultat des expériences que nous avons faites à l'aide des mouvements des yeux.

Passons à l'étude des circonstances qui restreignent l'exactitude de la comparaison des deux champs visuels, c'est-à-dire à l'examen des cas où l'on voit coïncider des images représentées sur des points non correspondants des deux rétines, et des cas où des images représentées sur des points correspondants paraissent occuper des positions différentes dans le champ de la vision.

La principale des causes qui peuvent provoquer la fusion des images de points rétiniens disparates est l'analogie qu'elles présentent avec les deux images perspectives d'un seul et même objet. Plus une semblable analogie est complète, plus il nous devient difficile d'échapper à la représentation d'un seul objet solide, et de comparer, indépendamment de

cette idée, la disposition et la distance relatives des lignes et des points vus isolément dans le champ de la vision.

Si nous considérons, par exemple, les deux couples de lignes verticales de la figure *E* (pl. VII), en fixant, respectivement avec chaque œil, la plus à droite des lignes du couple qui lui est offert, l'image binoculaire nous présente deux lignes dont celle de droite est située un peu plus loin que celle de gauche. Dans cette expérience, les deux images de la ligne de gauche ne peuvent pas tomber sur des portions rétiniennes correspondantes, car les deux lignes de l'image de droite sont distantes de $3^{mm},5$, et celles de l'autre, de $2^{mm},7$ seulement, c'est-à-dire de $0^{mm},8$ en moins. Cependant il me semble presque impossible de distinguer que l'une ou l'autre des deux lignes, qui paraissent situées dans un plan oblique par rapport au papier, apparaisse double. Je ne vois se produire de tendance à voir double l'une des lignes, que lorsque je fixe l'autre d'une manière attentive et soutenue. Il est peut-être quelques observateurs qui, même dans ces conditions, réussissent à percevoir facilement les doubles images, et il en est d'autres auxquels cela est absolument impossible; en effet, sous ce rapport, on rencontre de très-grandes différences individuelles.

Dans les couples de lignes *H* (pl. VII), la différence des distances est plus grande ($3^{mm},7$ et 7 millimètres; différence, $3^{mm},3$). Une fois la fusion obtenue, je parviens à voir également cette figure représenter deux lignes situées à une grande distance en avant l'une de l'autre; mais les images doubles de l'une, et même parfois des deux lignes, ne disparaissent jamais d'une manière complète, parce que la distance de ces doubles images est relativement trop considérable.

Dans la figure *J*, les deux couples de lignes verticales présentent également des écartements assez différents ($6^{mm},7$ et $9^{mm},2$; différence $2^{mm},5$); cependant la différence de leurs distances est moindre que pour les couples *H*, et la fusion est facilitée par les lignes supérieures et inférieures qui donnent à la figure l'aspect d'un plan rectangulaire vu en perspective. Dans cette dernière figure, la différence est précisément convenable pour me permettre d'obtenir, d'une manière facile et complète, la fusion stéréoscopique sans cesser de pouvoir distinguer cependant les images doubles, pour peu que j'y porte mon attention. Si, dans ces conditions, je fixe l'une des lignes verticales, l'autre paraît double, et j'ajouterai que c'est la plus courte et la plus à droite des lignes verticales de l'image binoculaire qu'il m'est le plus facile de voir double. Tandis que je fixe la ligne de droite de l'image totale, si je viens à faire augmenter très-lentement la convergence des yeux en produisant graduellement et avec beaucoup de précaution l'effort musculaire néces-

saire, que je connais par suite d'une longue habitude, je puis obtenir des images doubles très-voisines (éloignées de 1^{mm} à $1^{mm}\ {}^1/_2$) de la ligne de droite ; alors la ligne de gauche doit continuer à paraître double, et je peux m'assurer, par moments, qu'il en est véritablement ainsi. Cependant il est très-difficile de maintenir, pendant un certain temps, une semblable position des yeux sans être soutenu par un objet de fixation déterminé, et les oscillations continuelles des lignes de regard se traduisent par les variations correspondantes de l'intervalle des deux images de la ligne de droite. Sur la figure *H*, je réussis plus facilement à maintenir le regard de telle façon que le couple de gauche paraisse entièrement compris dans celui de droite, position où les quatre lignes apparaissent isolément.

Lors donc que l'observateur est suffisamment maître des mouvements de ses yeux, il peut amener à volonté les deux images à se superposer dans la position qu'il veut, et il peut parvenir à distinguer, en général, les images doubles dans toute position donnée, pourvu que ces images ne soient pas par trop voisines.

J'ai d'ailleurs parfaitement conscience de la manière dont je dois diriger mon attention pour voir ou pour ne pas voir les images doubles. Lorsque je ne veux pas les voir, je cherche à mesurer, avec le regard, de combien la ligne de droite de la figure *E*, *H* ou *J* est plus éloignée de moi que celle de gauche ; je porte donc mon attention sur la perception du relief. Si je veux voir les images doubles, je cherche à apprécier quelle est la forme de l'image, considérée comme figure plane, quelle est, par exemple, la distance horizontale qui sépare les lignes verticales dans le plan du papier, et autres choses semblables. Cette différence dans la manière d'observer me paraît tout à fait analogue à celle qui se présente, par exemple, lorsque je cherche à apprécier la forme des faces d'un cube que je verrais devant moi dans une position oblique. Je puis, d'une part, examiner le cube pour voir si ses faces sont réellement rectangulaires et si ses arêtes sont égales, ce qui peut se faire avec un certain degré d'exactitude même lorsqu'on le regarde obliquement. Je puis encore, d'autre part, essayer de dessiner le cube et examiner ses faces dans l'intention de distinguer la forme des parallélogrammes qu'elles découpent dans le champ visuel. Si tel est mon but, je m'applique à voir de combien les angles qui paraissent obtus semblent plus grands que ceux qui paraissent aigus, de combien l'une des diagonales d'une face paraît plus grande que l'autre, et ainsi de suite. Il m'est possible de passer à volonté de l'une à l'autre de ces deux manières de voir. Si les faces sont très-déformées par la perspective, au moment où je perçois distinctement que les angles des faces

sont tous égaux et droits, je ne puis cependant pas complétement m'empêcher de voir que les trois angles droits groupés autour de l'un des sommets paraissent, dans l'image, mesurer ensemble quatre angles droits, et, en général, que les différents angles droits paraissent différemment grands. Mais lorsque l'obliquité n'est pas considérable, la plus grande attention et la plus grande habitude pourront ne pas suffire pour me faire distinguer que les différents angles droits paraissent avoir des grandeurs différentes dans le champ visuel ; c'est ce qui a lieu, par exemple, lorsque mon œil se trouve dans le prolongement de l'une des arêtes, position où je n'ai devant moi qu'une seule face du cube, qui présente seulement une faible inclinaison par rapport à la ligne de regard. Nous sommes, en général, bien mieux exercés à apprécier exactement la forme véritable des corps que leur aspect dans le champ visuel, et c'est à cette circonstance que tient l'une des principales difficultés du dessin d'après nature.

Les choses se passent d'une manière tout à fait analogue pour l'appréciation du relief et des images doubles dans le champ visuel. — Si je porte mon attention sur le relief, les distances différentes des points correspondants de l'image deviennent, d'après l'expérience, les signes sensuels de la forme solide de l'objet extérieur, et leur dissemblance ne s'impose à l'attention de l'observateur que lorsqu'elle est très-prononcée ; absolument comme, dès que la déformation perspective est considérable, la forme rhomboïdale apparente des surfaces du cube ne peut pas être complétement oubliée, bien que l'on perçoive en même temps la forme carrée qu'elles possèdent en réalité.

Il m'est possible, cependant, de porter mon attention sur les particularités du champ de vision, et je remarque alors entre les deux images des différences qui m'avaient échappé ; mais la perception du relief peut s'imposer aussi et entraîner à laisser passer inaperçues de très-petites différences des deux aspects du corps, de même que la perception de la forme réelle du cube peut m'empêcher complétement de voir de très-petites déformations perspectives de ses surfaces. Dans l'un comme dans l'autre cas, il s'agit de reconnaître, dans le champ de vision, l'inégalité de certaines dimensions que nous savons, par expérience, être l'expression sensuelle de grandeurs égales dans l'espace objectif; seulement dans l'un des cas les deux grandeurs à comparer ne sont pas situées dans le même champ visuel, tandis que, dans l'autre, elles sont situées toutes les deux dans le champ commun de la vision.

Du reste, lorsque je cherche à me procurer la notion de profondeur sur les figures *H* et *J*, j'y réussis le mieux en laissant errer le regard de l'une à l'autre extrémité de cette profondeur. Mais j'y parviens

encore, d'une manière moins vive, il est vrai, en maintenant le regard immobile, et les images doubles qui surgissent de temps en temps me prouvent que je fixe alors de manière à faire coïncider les milieux des deux figures : les deux verticales de l'image binoculaire deviennent doubles au même instant. La position adoptée est celle qui donne, en somme, le moindre écartement des images doubles.

On peut faciliter l'apparition des images doubles en disposant sur les deux images à fusionner des marques différentes, souvent même très-légères, et qui s'opposent à l'interprétation d'après laquelle les deux images appartiendraient à un seul et même objet. — Ainsi, comme Volkmann l'a fait voir, il suffit de recouvrir d'un papier blanc la moitié d'une des lignes de la figure E, ou de tracer deux lignes horizontales à des hauteurs différentes, dans l'intervalle des deux couples verticaux, de façon qu'il se forme des figures analogues à des H, mais dont les lignes transversales soient à des hauteurs différentes. On peut encore, dans la figure P (pl. IX), faire l'un des couples de lignes noir sur fond blanc et l'autre blanc sur fond noir, ce qui rend plus difficile la combinaison stéréoscopique, sans la rendre impossible. La figure G (pl. VII) reproduit les couples de lignes de la figure E, en y ajoutant deux points situés à la même distance de la ligne gauche de chaque couple, ces points étant l'un en dedans et l'autre en dehors de la ligne de droite. Si l'on fusionne les deux points en les fixant, les deux lignes situées de part et d'autre du point de fixation se séparent immédiatement; en effet, comme l'une est à droite et l'autre à gauche du point fixé, c'est une différence bien plus remarquable que lorsqu'elles sont toutes les deux du même côté du point de fixation et seulement à des distances différentes de ce point. Mais alors même qu'on fixe la ligne de gauche, le point paraît simple, tandis que la ligne de droite, qui semble passer derrière ce point, paraît assez facilement double. Nous sommes ici sous l'empire d'une perception qui nous représente la ligne de droite comme à la fois plus rapprochée et plus éloignée que le point, et comme nous distinguons que le point est à une distance invariable de la ligne de gauche, il faut bien admettre que les deux images de la ligne de droite sont séparées. Par une sorte de contraste, le point, qui devrait paraître dans le plan du papier, paraît avancer, comme si, dans l'image de droite, il était plus rapproché de la ligne de gauche que dans l'image de gauche.

La fusion peut également se produire pour des points situés à des hauteurs un peu différentes au-dessus ou au-dessous de l'horizon rétinien : par exemple, lorsqu'on amène à se superposer les deux couples de lignes de la figure F (pl. VII), l'écartement étant respectivement de

3^{mm} et de $3^{mm},7$ dans les couples de gauche et de droite. Ce cas trouve son analogue dans la réalité, lorsqu'on a devant les yeux deux lignes horizontales situées latéralement par rapport au plan médian. Des lignes ainsi situées n'étant pas à la même distance des deux yeux, leur intervalle paraît plus grand à l'un qu'à l'autre. Mais les différences entre les dimensions verticales, qui peuvent se présenter dans l'observation d'objets réels, sont généralement faibles relativement à celles qui se présentent entre les distances horizontales. C'est pour ce motif, sans doute, que nous ne pouvons fusionner que des images dont les dimensions verticales ne présentent que de très-faibles différences. De plus, la fusion de ces lignes, et même celle de lignes dont les distances diffèrent encore bien moins, disparaît assez rapidement pour faire place à la vision double de l'une des lignes, si l'on a soin de fixer d'une manière bien inébranlable.

Il faut encore insister sur ce point que ce n'est pas seulement sur les parties plus ou moins latérales de la rétine, mais aussi sur les parties même les plus centrales qu'il nous est possible de fusionner des images disparates. Lorsque je fusionne les deux croix de la figure *L* (pl. VIII) et que je fixe le centre de l'image binoculaire, les deux lignes verticales situées à droite de ces croix doivent paraître se réunir pour former une ligne continue. C'est ce qui a lieu, en effet, lorsque je fixe attentivement et exactement le centre de la croix; mais cela n'arrive pas toujours lorsque je n'apporte pas une attention particulière à la fixation. En effet, tantôt c'est la verticale supérieure, tantôt la verticale inférieure qui paraît alors située plus loin de la croix, et la distance qui sépare les deux verticales peut bien atteindre un millimètre au moins, sans que la verticale de la croix se dédouble sensiblement. Si j'examine d'abord le dessin naturellement, ce qui exige une position convergente, et que je fasse diverger peu à peu les yeux jusqu'à ce que les croix coïncident, c'est ordinairement la partie supérieure de la verticale, celle qui appartient à l'image du côté droit, qui paraît la plus éloignée. Les yeux conservent donc une convergence un peu trop forte. Mais je puis encore, à volonté, donner aux lignes visuelles un écartement un peu plus grand (ce qui, pour moi, reste toujours de la convergence, puisque la distance de mes yeux est de 68^{mm}, tandis que celle des dessins est seulement de $63^{mm},5$) ; alors la moitié supérieure de la ligne verticale se rapproche un peu plus de la croix que la moitié inférieure. Dans ce cas, les oscillations des verticales latérales, dont les positions sont faciles à comparer, trahissent l'existence, dans la position des yeux, d'oscillations qui ne se décèlent pas par le dédoublement de la ligne verticale de la croix que l'on paraît fixer. C'est là une circonstance dont il faut

avoir bien soin de tenir compte dans les expériences sur les images doubles. Il ne faut pas croire que, dans la fixation ordinaire et peu exacte d'un point, celui-ci se représente toujours sur des points exactement correspondants des milieux des rétines. C'est ainsi que, pour ma part, je fixe toujours les figures *E* et *F* de telle façon que les deux lignes les plus voisines sont toujours comprises entièrement entre les deux autres. Pour m'en assurer, il me suffit de recouvrir, à partir d'une extrémité, la moitié de l'un des couples de lignes avec une feuille de papier blanc.

Je m'étais d'abord proposé d'employer une figure analogue à *L* pour déterminer la grandeur des portions correspondantes sur la ligne horizontale, mais je ne pus pas l'utiliser parce que, pour moi, la ligne verticale de la croix paraît toujours simple, même lorsque les verticales latérales subissent des déplacements assez considérables. L'expérience réussissait beaucoup mieux lorsque je supprimais également, dans chaque figure, l'une des moitiés de la verticale de la croix.

Une verticale tracée sur l'une des figures peut aussi se fusionner avec deux verticales qui lui correspondent à peu près dans l'autre. — La figure *T* (pl. X) présente deux lignes à gauche et trois à droite. Si l'on fait coïncider exactement les lignes situées le plus à gauche dans les deux groupes, l'image de la ligne située à droite dans le groupe gauche vient se placer entre les deux lignes de droite du groupe droit et se fusionne avec elles. On obtient alors l'impression d'une image de trois lignes dont la plus à droite est plus loin de l'observateur que la ligne située le plus à gauche, la troisième étant plus voisine de lui que les deux autres. Les trois lignes paraissent être les arêtes d'un prisme rectangulaire, et elles sont, en effet, l'expression optique d'un semblable prisme dont le prolongement de l'une des faces passerait par l'œil gauche de l'observateur. Pour reconnaître où se trouve l'image de la ligne simple de la figure de gauche, on a marqué un gros point sur le milieu de cette ligne. Lorsque je fixe la ligne de gauche de l'image binoculaire, ce point se place tantôt sur l'une, tantôt sur l'autre ligne de la paire correspondante, tantôt dans l'espace qui les sépare : on prend ainsi sur le fait les oscillations de la convergence.

Il m'est possible également de fusionner deux cercles de rayon un peu différent, tels que ceux de la figure *R* (pl. X). — Cette expérience répond au cas réel où l'observateur regarde un cercle (ou une sphère) situé en dehors de son plan médian de manière à être plus voisin d'un œil que de l'autre. On peut fusionner ainsi, d'une manière facile et assez durable, les parties verticales des deux cercles, tandis que les arcs horizontaux se dédoublent facilement, à moins que la différence des

rayons des deux cercles ne soit relativement très-faible. On prend pour point de fixation le centre de l'image binoculaire. Je dois faire observer qu'en faisant cette expérience je me suis surpris à tourner involontairement la tête vers le cercle le plus petit, ce qui égalisait à peu près la grandeur apparente des deux cercles. La fusion se faisait naturellement alors d'une manière bien plus complète. Mais si l'on cherche à fusionner un cercle avec deux autres dont l'un est un peu plus petit et l'autre un peu plus grand que le premier, comme dans la figure *S* (pl. X), la fusion a certainement lieu pour les arcs qui sont à peu près verticaux, et, le plus souvent, le cercle simple coïncide d'un côté avec celui qui est plus grand, et, de l'autre, avec celui qui est plus petit. En haut et en bas, au contraire, les cercles se séparent, et l'on voit des arcs du cercle simple passer du grand au petit. On voit donc, dans l'image binoculaire, deux cercles reliés en haut et en bas par un arc qui n'est perçu, il est vrai, que d'une manière assez vague et confuse. Le cercle intérieur paraît être en arrière du cercle extérieur vers la droite et en avant de ce cercle, vers la gauche, ce qui provient d'un effet stéréoscopique analogue à celui des verticales de la figure *T* (pl. X). Ici encore la fusion a lieu en tant qu'on peut trouver de l'analogie entre les dessins combinés et des objets réels ; les cercles se dissocient là où cette analogie fait défaut.

Volkmann (1) a exécuté une série de mensurations sur les valeurs limites des différences qui deviennent imperceptibles dans la vision stéréoscopique. — Il regardait, à l'aide d'un stéréoscope, deux couples de lignes noires sur fond blanc, que nous nommerons *ab* et *cd*. L'une de ces lignes, *d*, était un cheveu tendu dans une fenêtre mobile dans une coulisse horizontale. On plaçait d'abord la fenêtre de manière à combiner *a* et *c*, *b* et *d*, puis on approchait ou l'on éloignait la ligne *d* de la voisine *c*, jusqu'à ce qu'on la vît se séparer de la ligne *b* de l'autre couple, avec laquelle elle était fusionnée jusque-là. L'angle visuel, modifié par les lentilles du stéréoscope, était le même que si les lignes avaient été observées à 150^{mm} de distance.

Bien que, dans ces expériences, l'observateur fût censé fixer invariablement l'une des lignes de l'image binoculaire; je crois cependant pouvoir admettre, d'après mes expériences décrites plus haut, qu'en réalité il plaçait les yeux de telle sorte que les deux lignes fusionnées auraient donné des images doubles à peu près également distantes, dans le cas où ces images auraient pu être perçues. Je pense donc que les véritables distances des images doubles à fusionner n'étaient guère

(1) *Archiv für Ophthalmologie*, II, 2, p. 32-59.

que de moitié ou d'un peu plus de moitié des différences des deux distances comparées.

J'indique ci-dessous un résumé des résultats de Volkmann, et dont chacun est la moyenne de 15 observations. Les valeurs de la distance *cd* sont les plus fortes qu'il était possible de fusionner avec *ab*; les longueurs sont exprimées en millimètres.

Nos.	OBSERVATEURS.	*ab*	*cd*	*ab* — *cd*	OBSERVATIONS.
1	VOLKMANN	5,3	3,46 7,57	+ 1,84 — 2,27	Lignes verticales.
2	....	5,3	4,52 6,62	+ 0,78 — 1,32	De même, 2 mois plus tard.
3	....	1,5	0,91 3,25	+ 0,59 — 1,75	De même.
4	....	8,0	5,91 10,99	+ 2,09 — 2,99	De même.
5	....	5,3	4,88 6,05	+ 0,42 — 0,75	Lignes horizontales.
6	....	1,5	1,15 1,97	+ 0,45 — 0,47	De même.
7	....	8,3	7,26 9,01	+ 1,04 — 0,71	De même.
8	SOLGER	5,3	2,13 10,00	+ 3,17 — 4,70	Lignes verticales.
9	....	5,3	4,66 5,91	+ 0,64 — 0,61	Lignes horizontales.
10	KRAUSE	5,3	3,21 8,48	+ 2,09 — 3,18	Lignes verticales.
11	....	5,3	4,92 5,86	+ 0,38 — 0,56	Lignes horizontales.

On voit, dans ces observations, des différences individuelles considérables entre les différents observateurs; les nombres varient même beaucoup pour le même observateur, par l'effet de l'exercice.

En effet, les chiffres prouvent que M. Volkmann voyait plus tôt les images doubles, après avoir fait des expériences de ce genre d'une manière persévérante pendant deux mois. La facilité relativement plus grande avec laquelle il vit, dès l'abord, les images doubles, lorsque ces

images différaient peu, tient sans doute aussi à ce qu'il était bien plus exercé que les deux autres observateurs dans l'exécution des expériences d'optique physiologique ; cependant on peut également admettre que l'adresse de l'évaluation oculaire présente, dans ses différentes applications, des variations individuelles considérables. Les chiffres montrent, de plus, comme on l'a déjà vu plus haut, qu'on reconnaît mieux les distances verticales que les distances horizontales des lignes horizontales, dans les deux champs visuels; de plus, l'appréciation de ces dernières présente de moindres variations individuelles. Si l'on considère qu'il ne faut probablement guère prendre que la moitié des différences indiquées, qu'il faut encore en retrancher environ un dixième de millimètre pour la largeur des lignes elles-mêmes, qu'enfin la plus petite distance visible, à 150^{mm}, est d'environ un vingtième de millimètre, il reste, en réalité, peu de marge pour la fusion, dans quelques-unes des expériences sur les lignes horizontales.

D'autres séries d'expériences de Volkmann montrent qu'en général, à mesure que l'angle compris entre les lignes et la verticale augmente, les différences de leurs distances compatibles avec la fusion diminuent, cette différence présentant son minimum pour la direction horizontale.

Volkmann rechercha, de plus, quelles sont les plus grandes différences de direction compatibles avec la fusion des deux lignes. — Les deux lignes formaient les diamètres des deux disques mobiles autour de leurs centres. On les plaçait d'abord parallèlement, et faisant avec la verticale un angle que l'on notait. Puis on faisait tourner le disque droit successivement à droite et à gauche jusqu'à cessation de la fusion stéréoscopique; la différence de direction des deux lignes, obtenue alors,

ANGLE FORMÉ AVEC LA VERTICALE.	DISTANCE ANGULAIRE.		
	VOLKMANN.		SOLGER.
	$D = 60^{mm}$.	$D = 20^{mm}$.	$D = 60^{mm}$.
0°	5°,5	7°,4	17°,5
10°	5°,1	6°,9	15°,5
20°	4°,4	6°,1	14°,0
30°	3°,8	5°,8	11°,5
40°	3°,7	5°,3	10°,2
50°	3°,4	4°,4	8°,9
60°	2°,7	4°,1	6°,2
70°	2°,4	3°,3	4°,5
80°	1°,9	2°,8	3°,9
90°	1°,5	2°,1	2°,9

est indiquée dans le tableau ci-dessus sous le nom de *distance angulaire.* Les nombres sont des moyennes de 20 (Volkmann) ou de 30 (Solger) observations; la longueur des lignes est désignée par *D.*

Il résulte de ces expériences que les lignes à peu près verticales se fusionnent malgré des différences de direction plus grandes que les lignes à peu près horizontales, et que cette fusion est soumise à de notables variations individuelles. Les lignes courtes se fusionnent plus facilement que les longues.

Wheatstone, l'inventeur du stéréoscope, fut amené par ses expériences à soutenir que, de même que des images disparates peuvent se confondre en une seule dans la projection stéréoscopique, de même des points correspondants des deux images rétiniennes peuvent être localisés dans deux parties différentes de l'espace, et par conséquent, paraître doubles. — Cette assertion a donné lieu à de vives controverses; cependant, si on ne la considère que dans son sens véritable et avec sa restriction nécessaire, on ne peut guère se refuser à l'admettre. En effet, si l'on accorde que, dans certaines conditions et dans un certain sens, on peut voir simples des images disparates, il s'ensuit nécessairement que, dans les mêmes conditions et dans le même sens, on doit voir doubles des images correspondantes. Soient (figure 209) *AC* et *BD*

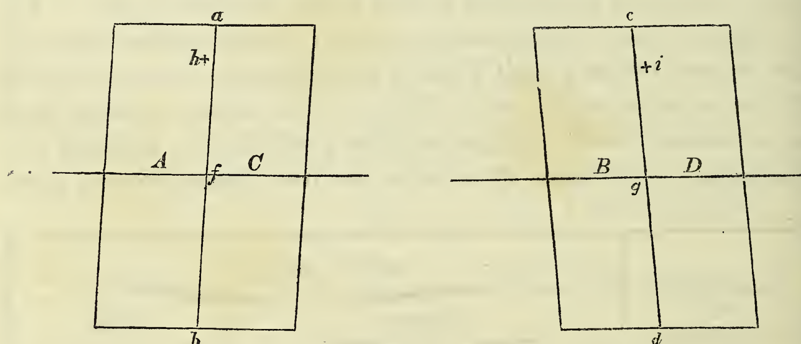


Fig. 209.

deux surfaces, *A* et *B* colorés en vert, *C* et *D* en rouge. Supposons qu'elles appartiennent à des images stéréoscopiques quelconques et qu'elles forment, pour l'observateur, l'image simple d'un plan oblique, de telle sorte que la ligne *ab* se confonde avec *cd*, bien que les directions de ces deux lignes ne se correspondent pas exactement. Soient *f* et *g* les points fixés sur ces deux dessins, et *h* et *i* deux points correspondants, situés respectivement sur les verticales élevées en *f* et en *g*. Les points *h* et *i* peuvent se trouver sur des côtés différents par rap-

port à *ab* et à *cd*, parce que, d'après notre hypothèse, ces lignes ne sont pas correspondantes. Dans la figure, les points sont représentés par de petites croix destinées seulement à en indiquer la position ; il est entendu que, dans les images stéréoscopiques, rien ne les distingue du fond sur lequel ils sont situés. L'image stéréoscopique de la surface inclinée est entièrement verte à gauche et rouge à droite de la ligne de séparation, qui est aussi vue binoculairement ; par conséquent le point *h* qui est dans le vert, et le point correspondant *i* qui est dans le rouge, apparaissent respectivement à gauche et à droite de la ligne de séparation des deux couleurs. La disposition des points dans chaque champ visuel ne peut évidemment pas être modifiée par l'acte de vision commune. Par conséquent les deux points *h* et *i* sont localisés *en deux points différents de la surface inclinée apparente*, mais non pas en deux points différents du champ visuel, car on ne s'occupe aucunement de ce champ. Mais naturellement cette localisation persiste seulement autant que l'aspect du relief empêche la comparaison exacte des positions de *ab* et de *cd* relativement aux horizons rétiniens. Détournons notre attention de l'objet solide que nous croyons voir pour la reporter sur la forme des images dans le champ visuel, il nous sera peut-être possible, en nous y exerçant, de dissocier les deux lignes *ab* et *cd*, et d'apercevoir entre elles une bande formée à la fois de vert et de rouge, et où le vert du point *h* se confondrait avec le rouge du point *i*.

Je ferai encore remarquer ici que les partisans de l'identité native des rétines admettent que, dans cette expérience, l'antagonisme des champs visuels effacerait dans chacune des images les parties qui répondent aux limites des surfaces colorées. D'après cette opinion, le vert et le rouge situés le long de chacune des limites *neutraliseraient* le rouge ou le vert des parties correspondantes du fond. Même si nous admettons qu'il en soit ainsi, on pourra encore choisir pour *h* et *i* une position dans laquelle il y aurait équilibre de l'antagonisme, et alors toutes nos objections subsisteront.

Les points *h* et *i* ne doivent pas être marqués de la même façon dans la figure, parce qu'il en résulterait alors la représentation d'un objet situé derrière la ligne combinée *ab-cd* ; par suite, dans la notion produite, on ne pourrait plus s'en tenir à la considération de lignes et de points situés *à côté* l'un de l'autre.

Si l'on veut désigner des points correspondants tels que leurs images apparaissent séparées, il faut les désigner de manières différentes. Wheatstone a proposé, à cet effet, une expérience célèbre. On trace, dans des positions correspondantes des deux champs visuels, une forte ligne noire et une ligne très-fine ; cette seconde ligne est coupée, sous un petit angle, par une autre ligne forte : dans la combinaison sté-

réoscopique, les deux lignes fortes paraissent se confondre en une seule, inclinée par rapport à la surface du papier, tandis que la ligne fine paraît se trouver à côté, dans le plan du papier. Dans la figure de Wheatstone, les deux lignes qui doivent se fusionner présentent assurément des différences d'inclinaison assez grandes pour que la plupart des observateurs puissent les voir facilement doubles, et beaucoup d'auteurs en ont fait la remarque. Wheatstone lui-même est évidemment un des observateurs qui peuvent laisser inaperçues des images doubles très-écartées ; chaque observateur doit adapter à ses yeux les différences d'inclinaison des lignes à fusionner. Je trouve que l'effet est encore plus certain, si l'on offre à chaque œil une ligne forte et une ligne mince qui se coupent de telle façon que la ligne forte d'un côté réponde à la ligne mince de l'autre; c'est ce qui est réalisé, d'une manière convenable pour mes yeux, par la figure *M* (pl. VIII). Il faudrait, il est vrai, une disposition un peu différente des figures pour les observateurs chez qui les méridiens verticaux apparents présenteraient une divergence autre que chez moi. Dans la figure en question, je vois la ligne forte se fusionner avec la ligne forte, la ligne faible avec la ligne faible, et je ne parviens en aucune façon à voir coïncider la ligne forte du côté gauche avec la ligne faible du côté droit. Cependant, ces lignes ne paraissent parfaitement parallèles entre elles que lorsque je dissocie les images en modifiant la divergence des yeux. Il ne faut pas croire, non plus, que l'une des images, s'efface et passe complétement inaperçue : il ne pourrait se produire alors aucun effet de relief; or la ligne épaisse paraît manifestement se rapprocher de l'observateur, par sa partie supérieure, lorsqu'on en compare la position avec celle des deux lignes verticales situées sur la droite et sur la gauche de la figure. Un semblable effet stéréoscopique ne pourrait pas se produire si l'on ne voyait pas du tout la ligne mince de l'image de droite.

On obtient un effet analogue avec la figure *N* (pl. VIII) où les deux lignes qui limitent des côtés externes la moitié supérieure de la bande noire se correspondent, et où il en est de même pour leurs prolongements, qui limitent du côté interne les moitiés inférieures de cette bande. Dans l'image binoculaire, on voit une bande noire unique sur laquelle les deux lignes limitantes qui se correspondent occupent des côtés opposés. Dans cette figure aussi, l'inclinaison des triangles noirs devra être un peu modifiée par les observateurs chez qui les méridiens verticaux présentent une divergence autre que chez moi.

Dans les exemples *M* et *N*, la plupart des observateurs trouveront qu'il est impossible de voir que les lignes qui paraissent coïncider dans le champ de vision commun ne se correspondent pas en réalité, et qu'au contraire, les lignes qui coïncident sont la ligne mince du côté droit et

la ligne forte du côté gauche, pour la figure M, et les bords opposés des bandes, pour la figure N. Cependant je ne contesterai pas que l'observation puisse réussir à une personne particulièrement exercée dans la perception des images doubles. Pour ma part, je remarque parfois, en fixant bien invariablement le point d'intersection, que les lignes ne me paraissent pas précisément simples, mais je ne puis pas non plus les voir positivement doubles. La dissociation est plus facile si, à l'exemple de W. v. Bezold, on dessine les figures avec de l'encre de Chine sur une lame de verre, ce qui permet, en modifiant brusquement l'éclairage, de faire apparaître l'un des dessins en clair sur fond sombre et l'autre en sombre sur fond clair. La tendance à la fusion disparaît alors et l'on reconnaît facilement la position disparate des images. Tout ce que je soutiens ici, — et je ne crois pas qu'on doive comprendre autrement l'expérience de Wheatstone, — c'est que, tant qu'on ne se détache pas de la notion de relief, même quand la fixation reste invariable, on se sert des impressions de points correspondants pour remplir des parties différentes de l'image stéréoscopique. Si l'on se met dans des conditions qui favorisent, le plus possible, la production d'une erreur dans la comparaison de deux images différentes situées dans les deux champs visuels, on fusionne les images de points disparates et l'on dissocie celles de points correspondants. J'ai montré que la première assertion entraîne la seconde qui en est la conséquence nécessaire. Mais il ne résulte pas de là que les images de points correspondants ne puissent pas se fusionner de nouveau lorsqu'on modifie convenablement l'observation de manière à rencontrer le moins de difficulté possible dans la comparaison des images des deux champs visuels et à dissocier les images de points disparates.

Il faut encore ajouter qu'à l'éclairage électrique la combinaison stéréoscopique des figures M et N se produit dans la perfection et qu'on n'y remarque aucune trace des images doubles qui devraient apparaître dans le champ de vision commun si les images de points correspondants se superposaient simplement. Les mouvements des yeux ne sont donc pour rien dans l'effet produit.

Nous avons encore à parler de quelques autres circonstances dont il faut tenir compte dans la fusion de deux images rétiniennes différentes.

Remarquons d'abord que, pendant la perception stéréoscopique de la troisième dimension, l'une des deux images ne disparaît pas, comme l'ont cru quelques partisans de la prétendue identité des rétines, de manière à passer complétement inaperçue et à ne produire aucune sensation. S'il en était ainsi, comment expliquer l'existence de la perception

binoculaire de la troisième dimension, qui ne repose que sur la différence des images et sur la perception de cette différence. L'exactitude si grande de la perception du relief prouve même que la différence des images est perçue avec une précision extrême, non pas à l'état de différence de remplissage des champs visuels, mais seulement comme étant l'expression sensuelle des distances différentes des divers points de l'objet. Dans les cas où la perception de relief manque, il peut certainement arriver que quelques parties des images s'effacent momentanément ou d'une manière permanente ; nous examinerons ces cas plus en détail dans le paragraphe suivant.

En second lieu, il faut examiner quelle est l'influence des mouvements des yeux sur la fusion des images doubles. — E. Brücke a émis, à ce sujet, une opinion d'après laquelle nous ne percevrions la troisième dimension des objets qu'à condition de promener continuellement les lignes de regard sur les différents contours de ces objets, de façon à recevoir successivement, sur les centres identiques des *fovea*, les images de tous les points de ces contours. Comme notre attention est concentrée, en général, sur les images reçues par la portion la plus sensible de la rétine, on pouvait, avec raison, se demander si les images doubles des autres parties de l'objet ne passent pas inaperçues, par la raison qu'ordinairement les parties des images qui sont vues le plus exactement et qui attirent le plus notre attention sont des parties correspondantes. Il faut convenir qu'en réalité les éléments signalés par Brücke sont d'une grande importance pour acquérir des notions complètes de la troisième dimension et que la description qu'il donne de la manière dont ces notions se produisent répond parfaitement à ce qui se passe dans la vision ordinaire et naturelle. Il est parfaitement exact que la combinaison d'images très-différentes ne réussit effectivement qu'à l'aide des mouvements des yeux, grâce auxquels on voit successivement simples les différentes parties des images ; lorsqu'on laisse à l'attention sa marche naturelle, elle se porte, en effet, toujours de préférence sur les parties que l'on fixe. Il est incontestable aussi que ce déplacement du regard donne à la notion de profondeur une exactitude et une vivacité bien plus grandes que celles qui se produisent lors de la fixation d'un point ; cela tient, suivant moi, à ce que nous ne savons jamais distinguer les différences de profondeur que pour des points qui sont très-rapprochés de l'horoptère relatif à chacune des positions successives des yeux. C'est donc en faisant varier la convergence et amenant successivement dans l'horoptère, ou du moins très-près de l'horoptère, tous les points de l'objet réel ou apparent, qu'on obtient successivement une notion exacte de toutes les différences de profondeur. Si, au contraire,

on fixe *longtemps* le regard sur un point, les images doubles se produisent plus facilement et les différences de profondeur, surtout celles des points dont les images doubles sont très-disparates, deviennent peu sensibles. Bien plus, les images doubles que la fixation très-soutenue d'un point ne suffit pas pour séparer sont à une distance tellement voisine des limites du pouvoir distinctif des yeux, que je crois devoir admettre que les petites oscillations inévitables des yeux sont la seule cause de la persistance de leur fusion.

Cependant la théorie de Brücke était un peu trop exclusive lorsqu'il pensait que *toutes* les perceptions de profondeur ne peuvent être acquises que par les mouvements des yeux et que *toutes* les images doubles ne peuvent être fusionnées que par la vision simple et successive des divers points de l'objet. En effet, Dove a montré qu'à l'éclairage instantané de l'étincelle électrique on peut encore obtenir des effets stéréoscopiques et fusionner des images doubles. On peut employer dans ce but l'appareil décrit page 725. Seulement il faut avoir soin qu'au moment de l'éclairage électrique les deux lignes de regard soient dirigées sur des parties correspondantes de l'image. A cet effet, je pratique deux petits trous d'épingle en des points correspondants des dessins à fusionner. La paroi de la boîte obscure dans laquelle l'image est attachée est elle-même percée derrière ces deux trous et la chambre où l'on se tient n'est pas complétement obscure, de sorte que l'observateur peut voir les deux trous d'épingle à l'aide du peu de lumière qui les traverse. Il dirige les lignes visuelles sur ces trous, de manière que leurs images se confondent dans le champ visuel commun, puis il fait passer l'étincelle. Dans ces conditions, les dessins stéréoscopiques dont les différences ne sont pas trop grandes, comme les figures E, M et N (pl. VII et VIII), donnent des notions de profondeur très-nettes et très-prononcées, sans images doubles perceptibles ; mais celles dont les différences sont plus grandes, comme H, se décomposent en traits isolés et ne donnent aucune notion de profondeur. De même, toutes les horizontales superposées, comme en F, se dissocient avec une remarquable facilité. Si l'on regarde, dans cette expérience, des dessins simples et formés de lignes peu nombreuses, on obtient, pendant l'éclairage instantané, un aperçu simultané du tout. Si l'on a sous les yeux, au contraire, des photographies stéréoscopiques compliquées, qui présentent beaucoup de détails, on n'obtient une impression nette que d'une partie de l'ensemble, et il faut plusieurs étincelles pour embrasser successivement le tout. Il est singulier que, pendant qu'on fixe invariablement les trous d'épingle et qu'on en maintient la fusion, il soit possible, avant l'étincelle, de diriger à volonté l'attention sur la partie qu'on veut

du champ visuel obscur, et qu'alors, pendant l'étincelle, on n'obtienne d'impression que pour les objets situés dans cette partie du champ visuel. Sous ce rapport, l'attention est tout à fait indépendante de la position et de l'accommodation de l'œil, et, en général, de toutes les modifications connues qui puissent se produire sur et dans cet organe ; ainsi, l'attention peut être dirigée, par un effort conscient et volontaire, sur une portion déterminée du champ visuel absolument obscur et uniforme. C'est là une des expériences les plus remarquables qui devront servir un jour à établir la théorie de l'attention.

Les expériences avec l'éclairage instantané sont encore intéressantes pour le rôle que joue l'attention dans les images doubles, sous ce rapport que, lorsqu'il s'agit d'images comme *J*, que l'on peut voir aisément simples ou doubles à volonté, il est également facile d'obtenir ces deux effets à la lumière de l'étincelle électrique. La première impression est ordinairement celle de l'image simple stéréoscopique ; mais si l'on répète l'expérience à des intervalles d'environ 10 secondes, pendant lesquelles les images accidentelles peuvent complétement s'effacer, on commence à voir les images doubles, quoiqu'on fixe toujours le même point et que les actions lumineuses successives soient absolument pareilles. Bien plus, pour des figures comme *N*, où il m'est relativement difficile de voir les images doubles, je puis parvenir à les voir à l'éclairage instantané de l'étincelle électrique lorsque je cherche préalablement à me représenter vivement l'aspect qu'elles doivent avoir. L'influence de l'attention est observable ici dans une plus grande pureté, parce que l'influence des mouvements des yeux est complétement exclue. On peut aussi faire les mêmes expériences avec le tachistoscope de Volkmann, qui a déjà été décrit plus haut.

Remarquons, en outre, que différents observateurs dignes de foi, comme Wheatstone (1), Rogers (2) et Wundt (3), sont également parvenus à fusionner en une perception stéréoscopique de relief des images accidentelles dont la position n'était pas exactement correspondante. Rogers est même parvenu à ce résultat en produisant l'image accidentelle d'abord dans un œil, puis dans l'autre, et les fusionnant ensuite stéréoscopiquement. On évite ainsi l'influence que la vision préalable des images réelles pourrait exercer sur l'interprétation des images accidentelles. J'ai, du reste, obtenu des apparences nettes de relief sur des images accidentelles positives, obtenues par l'inspection momentanée d'objets fortement éclairés.

---

(1) *Phil. Transact.*, 1838, II, p. 392-393.
(2) *Silliman's Journal*, 2, XXX, November 1860.
(3) Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, p. 286-287.

Ces expériences montrent, aussi bien que celles avec l'étincelle électrique, que les mouvements de l'œil ne sont nullement nécessaires pour obtenir la perception de la troisième dimension, car, dans tous les mouvements possibles, les images accidentelles se déplacent avec l'œil, et il n'est aucun mouvement qui puisse rendre correspondantes des images disparates. Du reste, les expériences avec les images accidentelles réussissent difficilement ; il est nécessaire que ces images soient très-nettement développées, et même dans ce cas, il reste toujours une grande tendance à les projeter sur le fond réel que l'on regarde et à les considérer comme de simples taches sur la surface de ce fond.

Panum a exprimé la règle pour la fusion des images doubles, en disant que des contours analogues qui se peignent sur des points rétiniens à peu près correspondants se fusionnent. — Il nomme *cercle sensitif correspondant* la surface qui comprend, sur l'une des rétines, les points qui peuvent se fusionner avec un seul et même point de l'autre. Conformément aux faits exposés plus haut, il donne à ces cercles sensitifs un diamètre plus grand dans le sens horizontal que dans le sens vertical. Dans l'exposé qui précède, j'ai fait dépendre la fusion des images doubles de ce que la certitude et l'exactitude de l'estimation oculaire, pour les dimensions considérées des deux images, ne sont pas assez grandes pour ne pas permettre des erreurs ; je me suis fondé sur ce qu'une semblable erreur est facilitée par la notion d'un corps solide que l'on a ou que l'on croit avoir devant soi. Volkmann a déjà fait valoir, contre l'expression donnée à la loi par Panum, des faits comme *G* (pl. VII), où la fusion est troublée par l'addition d'un point ou d'autres petites incongruences des deux images. Panum a répondu que, dans ces cas, les contours présentent toujours une dissemblance qui, d'après son énoncé de la loi, doit empêcher la fusion. A d'autres expériences de Volkmann, d'où il résulte que, pour des différences de distance égales, les couples de lignes qui présentent de petites distances se fusionnent moins facilement que ceux dont les distances sont plus grandes, Panum a répondu que les lignes très-rapprochées se peignent, pendant la fixation, tout près du centre de la rétine et que si la fusion ne se produit pas, c'est qu'en cet endroit les cercles sensitifs sont plus petits. Mais nous pouvons répéter la dernière observation de Volkmann de la manière suivante. La figure *U* (pl. X) présente 5 lignes de chaque côté ; les couples 1-3, ainsi que 4-5, mesurent 4^{mm} de distance dans le groupe gauche et 5^{mm} dans le groupe droit. Dans le couple 1-3 on a encore intercalé de chaque côté la ligne 2 qui est, dans les deux groupes, à 3^{mm} de 1, et, par suite, à 1^{mm} seulement de la ligne 3 à

gauche et à 2^{mm} à droite. Si l'on fixe la ligne 4 de l'image binoculaire, 5 paraît simple et située un peu en arrière. Si l'on fixe, au contraire, bien inébranlablement la ligne 1, les deux lignes 3 paraissent séparées l'une de l'autre, tandis que les lignes 2 sont naturellement simples et à la même profondeur que 1. C'est seulement à l'aide de mouvements du regard que l'on peut voir simple la ligne 3, et tout le groupe présente alors l'aspect d'un prisme quadrangulaire vertical, sur la surface antérieure duquel une ligne (la ligne 2) aurait été tracée parallèlement aux arêtes. Mais lorsqu'on fixe la ligne 1 de l'image binoculaire, les lignes 3 occupent, sur les rétines, absolument la même position que les deux lignes 5 lorsqu'on fixe 4. Ce qui empêche la fusion des lignes 3, c'est évidemment la ligne 2 qui cependant n'est pas entre les deux, mais à leur gauche, et qui, d'après l'énoncé que Panum a donné à la loi, ne devrait pas empêcher la fusion. Si l'on considère, au contraire, la fusion des images doubles comme une illusion de l'estimation, on comprend, d'après la loi de Fechner, que l'on distingue plus sûrement entre des distances de 1 et de 2^{mm}, comme celles des lignes 2 et 3, qu'entre les distances de 4 et 5^{mm} que présentent les lignes 4 et 5.

Il se produit quelque chose d'analogue dans les expériences avec les cercles. — Lorsqu'on a dessiné deux cercles un peu inégaux, dont la fusion binoculaire soit possible, et qu'on entoure chacun d'eux d'un cercle concentrique, le rayon de chacun de ces deux cercles nouveaux étant un peu plus grand que celui du plus grand des deux premiers, les images des deux cercles intérieurs se dissocient avec une facilité relativement plus grande.

Enfin une question qui se rattache à notre sujet, et qui présente également de l'importance sous le rapport théorique, est celle de savoir si nous distinguons entre elles les impressions reçues par les deux yeux. — Il faut remarquer, à ce sujet, qu'à l'éclairage instantané de l'étincelle électrique nous voyons toujours correctement, et jamais pseudoscopiquement, les positions des groupes de lignes vus au stéréoscope ; j'ai même trouvé impossible de renverser le relief stéréoscopique (1) alors même que je cherchais à me représenter le plus vivement possible l'effet pseudoscopique afin de provoquer intentionnellement l'illusion, ainsi que j'y parviens, en général, avec facilité pour le relief des médailles vues monoculairement. Mais un semblable renversement du relief devrait nécessairement pouvoir se produire si l'on pouvait se tromper

(1) Les mêmes observations par Aubert et Marbach, in Aubert, Physiologie der Netzhaut, Breslau, 1865, p. 315, avec des figures diversement modifiées. Donders est arrivé récemment aux mêmes résultats, quant aux points essentiels.

entre l'impression des deux images rétiniennes et celle qu'on obtiendrait en les transposant d'un œil à l'autre. Il résulte donc immédiatement de là que l'impression momentanée qu'exercent deux images rétiniennes diffère certainement, d'une manière nette et déterminée, de celle que feraient les mêmes images rétiniennes si chacune d'elles était reportée sur les points correspondants de l'autre œil.

Cela n'empêche pas qu'ordinairement nous n'ayons pas nettement conscience de l'œil qui nous fournit l'une ou l'autre image. C'est là un point sur lequel nous ne sommes pas renseignés, ou si nous le sommes, ce n'est que d'une manière incomplète et à l'aide de circonstances accessoires : en règle générale, nous ne savons déduire de nos sensations que l'interprétation que des observations fréquemment répétées nous ont enseigné à en tirer. Nous pouvons donc avoir appris que des images doubles voisines, d'une certaine espèce, et qui présentent certains signes locaux, sont l'expression d'un objet qui est plus éloigné de nous que le point de fixation, et non pas celle d'un objet plus voisin, et cela sans être exercés à reconnaître, d'après les signes locaux des images, quelle est celle de l'œil gauche. Pour nous renseigner à cet égard, il nous est nécessaire de fermer ou de rouvrir l'un des yeux, ce que nous ne faisons pas dans la vision ordinaire dans laquelle, comme on l'a vu plus haut, nous ne faisons aucune attention aux images doubles. Aussi ne sommes-nous généralement pas en état, sans faire une expérience spéciale, de reconnaître l'œil auquel appartient chacune des deux images. Les mouvements des yeux ne peuvent guère nous renseigner non plus, car dans les mouvements de convergence — qui joueraient ici le rôle principal — nous n'avons aucune idée nette du sens suivant lequel se déplace chaque œil.

D'un autre côté, nous ne voyons constamment qu'avec l'œil droit les parties situées le plus à droite dans le champ commun de la vision ; elles sont masquées à l'œil gauche par le nez; de même, nous ne voyons qu'avec l'œil gauche, les parties les plus reculées à gauche ; aussi jugeons-nous facilement, lorsque cette région du champ est complétement obscure pour un œil, que c'est avec l'autre que nous y voyons les objets. Rogers a indiqué, à ce sujet, une expérience qui réussit d'une manière frappante. On fait, avec du papier noir, un tube d'environ 2 pouces de diamètre, on le tient devant l'œil droit et l'on y regarde le fond de la chambre, de préférence vers la gauche ; en même temps, à quelques pouces au-devant de l'œil gauche, on tient une grande feuille de papier noir qui lui masque la partie en question de la chambre. Il se produit alors, avec beaucoup d'énergie, une illusion d'après laquelle on croit voir le fond de la chambre avec l'œil gauche, à travers un

trou du papier, tandis qu'en réalité le papier n'a pas d'ouverture et que ce n'est pas l'œil gauche, mais l'œil droit, qui regarde à travers l'ouverture du tube.

Je dois ajouter, d'autre part, que lorsque j'examine une photographie stéréoscopique dont l'une des épreuves présente une tache foncée ou confuse, j'éprouve ordinairement la même sensation que si l'œil qui voit la tache était troublé ; j'essaye instinctivement d'effacer ce trouble en battant des paupières de cet œil, ce qui montre bien que, dans ce cas, je sens quel est l'œil qui reçoit l'image de la portion confuse. — Javal (1) cite l'exemple d'une personne strabique, à qui la vision binoculaire avait été récemment rendue, et chez qui la faculté de distinguer à quel œil revenait la perception des taches sur les photographies existait avec une sensibilité exquise, qui se maintint pendant plusieurs semaines.

Quant à la direction dans laquelle nous voyons les images doubles, elle résulte de ce qui a déjà été dit au sujet de la direction des images vues monoculairement. Nous voyons l'image de chaque œil comme si l'œil cyclopéen imaginaire de E. Hering avait reçu l'image rétinienne correspondante pendant qu'il serait dirigé vers le point de fixation. Par conséquent, si l'on regarde avec les deux yeux, on peut supposer les deux images rétiniennes reportées l'une sur l'autre dans l'œil cyclopéen imaginaire et projetées ensuite en conséquence dans l'espace. La distance qui les sépare de l'observateur est appréciée aussi exactement que le permettent la perception stéréoscopique incomplète de la profondeur qui accompagne les images doubles, et les moyens d'appréciation monoculaire des distances. Les expériences citées plus haut, de E. Hering et de J. Towne (2), expliquent aussi pourquoi les images doubles sont toujours projetées séparément dans l'espace. Si elles étaient projetées suivant la véritable direction de leurs lignes de visée, on pourrait les localiser dans le point d'intersection des lignes de visée correspondantes et alors elles apparaîtraient simples. Mais comme, en réalité, nous rapportons faussement les directions visuelles à un centre situé dans le plan médian du visage, il s'ensuit que deux directions visuelles différentes ne peuvent se couper en aucun point de l'espace situé devant l'observateur, et que les points projetés suivant leur direction doivent nécessairement toujours rester séparés. Nous avons déjà parlé plus haut de la cause probable de cette erreur.

---

(1) *Klin. Monatsbl. für Augenheilk.*, 1864, p. 440.

(2) M. J. Towne a fait, indépendamment de E. Hering, les observations importantes sur les directions visuelles apparentes. Il me fait savoir, par lettre, qu'il a montré les expériences à plusieurs personnes dès 1859. Mais ses publications, si je ne me trompe, ne datent que de 1862.

ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE DE L'HOROPTÈRE.

Lois des points correspondants et des lignes correspondantes. — Qu'on se figure deux plans menés normalement aux lignes de regard, à la même distance du point de croisement de ces deux lignes. Soient x et y les coordonnées dans l'un de ces plans; soient ξ et υ celles d'un système placé arbitrairement dans l'autre. Soient $x = y = 0$ et $\xi = \upsilon = 0$ les intersections des lignes de regard avec ces plans. Soient

$$ax + by = 0 \quad \text{et} \quad \alpha\xi + \beta\upsilon = 0 \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \qquad 1)$$

les lignes suivant lesquelles les horizons rétiniens coupent nos deux plans, et

$$cx + dy = 0 \quad \text{et} \quad \gamma\xi + \delta\upsilon = 0 \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \qquad 1a),$$

celles suivant lesquelles les méridiens verticaux apparents coupent ces mêmes plans.

Si les coefficients sont choisis de telle sorte qu'on ait

$$\left.\begin{aligned} a^2 + b^2 &= \alpha^2 + \beta^2 = 1 \\ c^2 + d^2 &= \gamma^2 + \delta^2 = 1 \end{aligned}\right\} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \qquad 1b),$$

conditions qu'il est toujours possible de satisfaire en multipliant les deux coefficients de chacune des équations par un facteur constant, ce qui n'altère pas ces équations 1) et 1a), on sait, d'après une proposition connue de géométrie analytique, que l'expression

$$ax + by$$

est celle de la distance d'un point x-y à une ligne dont l'équation est $ax + by = 0$. Les autres expressions, qui sont égalées à zéro dans les équations 1) et 1a), présentent une signification analogue. On peut donner, d'ailleurs, au facteur par lequel il faut multiplier les coefficients de ces équations, un signe tel que les expressions

$$ax + by \quad \text{et} \quad \alpha\xi + \beta\upsilon$$

soient positives pour des côtés correspondants des deux horizons rétiniens et que, de même, les expressions

$$cx + dy \quad \text{et} \quad \gamma\xi + \delta\upsilon$$

soient positives pour les côtés correspondants des méridiens verticaux apparents.

Les expériences nous ont conduit à cette loi que, dans les deux plans, ces points-là sont correspondants, qui sont à la même distance des horizons rétiniens, d'une part, et des méridiens apparents verticaux, d'autre part. Si les conditions 1b) sont satisfaites pour les coefficients des équations 1 et 1a), les conditions de la correspondance sont:

$$\left.\begin{aligned} ax + by &= \alpha\xi + \beta\upsilon \\ cx + dy &= \gamma\xi + \delta\upsilon \end{aligned}\right\} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \qquad 1c).$$

Nous nommons correspondantes, dans les deux champs, deux lignes telles qu'à chaque point de l'une réponde un point correspondant sur l'autre.

Soient l, m et n des constantes arbitraires, la ligne

$$l\,(ax + by) + m\,(cx + dy) + n = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1d),$$

a pour correspondante, dans l'autre champ, la ligne

$$l\,(\alpha\xi + \beta\upsilon) + m\,(\gamma\xi + \delta\upsilon) + n = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1e).$$

En effet, si, pour des valeurs constantes quelconques de x-y, nous menons dans le second champ la ligne

$$\alpha\xi + \beta\upsilon = ax + by \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1f),$$

on a aussi, pour son intersection avec la ligne 1e),

$$\gamma\xi + \delta\upsilon = cx + dy,$$

ainsi que cela résulte ici de la soustraction des équations 1d) et 1e). Le point d'intersection de 1e) et de 1f) est donc ici correspondant au point x-y.

L'équation d'une ligne droite quelconque

$$fx + gy + h = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1g)$$

peut se ramener facilement à la forme 1d), en posant

$$f = la + mc$$
$$g = lb + md$$
$$h = n$$

ou bien

$$l = \frac{df - gc}{ad - bc}$$
$$m = \frac{bf - ag}{bc - ad}$$
$$n = h,$$

relations qui définissent sans indétermination les trois coefficients de l'équation 1d). En déduisant ensuite, de l'équation 1d), l'équation 1e), on trouve la ligne correspondante de 1g).

Si nous divisons l'équation 1d) par

$$k = \sqrt{(la + mc)^2 + (lb + md)^2},$$

l'équation prend la forme normale des équations de plans, la quantité $n : k$ désignant la distance entre le plan 1d) et l'origine des coordonnées. Si nous posons

$$\varkappa = \sqrt{(l\alpha + m\gamma)^2 + (l\beta + m\delta)^2},$$

la quantité $n : \varkappa$ désigne cette même distance pour le plan 1e). Les deux distances ne sont donc égales que si l'on a

$$k^2 = \varkappa^2.$$

En tenant compte de l'équation 1b), ceci donne

$$2ml\,(ac + bd) - 2ml\,(\alpha\gamma + \beta\delta) = 0.$$

Si l'on n'a donc pas

$$ac + bd = \alpha\gamma + \beta\delta,$$

c'est-à-dire si les deux couples de plans ne font pas entre eux des angles égaux dans chaque œil, notre condition ne peut être remplie que pour $m = 0$ ou $l = 0$, c'est-à-dire si les plans 1d) et 1e) coïncident, soit avec les plans 1), soit avec les plans 1a). Ces deux derniers plans sont donc remarquables parmi tous les autres couples de plans correspondants qui passent par les lignes de regard. Nous pouvons, pour ce motif, leur donner le nom de *plans méridiens principaux*.

Longueurs correspondantes. Angles correspondants. — Plaçons, pour plus de commodité les axes des x et des ξ dans l'horizon rétinien ; il vient, dans les équations 1),

$$a = \alpha = 0, \qquad b = \beta = 1;$$

admettons, de plus, que les méridiens verticaux apparents occupent une position symétrique, ce qui ne s'éloigne généralement pas notablement de la vérité, on peut poser alors

$$\frac{d}{c} = -\frac{\delta}{\gamma} = -\operatorname{tang}\varepsilon,$$

où ε désigne l'écart entre le méridien vertical apparent et le méridien vertical véritable, dans chaque œil. On a alors

$$c = \cos\varepsilon \qquad \gamma = \cos\varepsilon$$
$$d = -\sin\varepsilon \qquad \delta = \sin\varepsilon.$$

Les équations des horizons rétiniens sont alors

$$y = 0 \quad \text{et} \quad \upsilon = 0 \; \ldots\ldots\ldots\ldots \; 1\text{h}),$$

celles des lignes verticales apparentes sont

$$x\cos\varepsilon - y\sin\varepsilon = 0 \quad \text{et} \quad \xi\cos\varepsilon + \upsilon\sin\varepsilon = 0 \; \ldots\ldots \; 1\text{i}),$$

et les équations de lignes correspondantes, menées par les points de regard, deviennent, d'après 1) et 1e),

$$xm\cos\varepsilon - y\,(l - m\sin\varepsilon) = 0$$
$$\xi m\cos\varepsilon + \upsilon\,(l + m\sin\varepsilon) = 0.$$

Soient s et σ les angles que ces lignes font respectivement avec les axes des x et des ξ, on a

$$\operatorname{tang} s = \frac{y}{x} = -\frac{m\cos\varepsilon}{l - m\sin\varepsilon},$$

$$\operatorname{tang}\sigma = \frac{\upsilon}{\xi} = -\frac{m\cos\varepsilon}{l + m\sin\varepsilon},$$

d'où il résulte

$$\text{tang}\,(\sigma - s) = \frac{2m^2 \cos \varepsilon \sin \varepsilon}{l^2 + m^2 \cos (2\varepsilon)},$$

$$\text{tang}\,(\sigma + s) = - \frac{2ml \cos \varepsilon}{l^2 - m^2}.$$

Si nous posons maintenant

$$\frac{m}{l} = \text{tang}\,\beta,$$

il vient

$$\text{tang}\,(\sigma + s) = \frac{\text{tang}^2 \beta \,.\, \sin (2\varepsilon)}{1 + \text{tang}^2 \beta \cos (2\varepsilon)},$$

$$\text{tang}\,(\sigma + s) = - \,\text{tang}\,(2\beta) \cos \varepsilon,$$

ou bien, comme ε est un angle relativement petit, ce qui permet de poser $\cos \varepsilon = \cos 2\varepsilon = 1$ et $\sin 2\varepsilon = 2\,\varepsilon$,

$$\beta = - \frac{s + \sigma}{2}$$

$$\sigma - s = 2\varepsilon \sin^2\beta.$$

Les angles s et σ sont comptés à partir des horizons rétiniens. Si l'on veut les compter à partir du plan de visée, il faut ajouter encore à la différence l'angle γ que forment entre eux des horizons rétiniens, et nous obtenons ainsi, pour cette différence, la formule que nous avons déjà employée :

$$\Delta = \gamma + 2\varepsilon \sin^2\beta \,.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. \quad 2).$$

Lignes de visée correspondantes et plans correspondants. — Menons des lignes droites par chacun des points d'un couple de points correspondants et par le point de décussation des lignes de visée de l'œil qui reçoit l'image de ce point, ces lignes sont des *lignes de visée correspondantes.* Les points situés sur de pareilles lignes de visée correspondantes se peignent en des points correspondants des rétines.

Si un couple de lignes droites correspondantes sont tracées dans les plans jusqu'ici considérés des x-y et des ξ-υ, leurs lignes de visée sont toutes situées dans deux plans qui passent par les points de décussation des lignes de visée, et auxquels on peut donner le nom de *plans correspondants.*

Tout couple de lignes droites situées dans un couple de plans correspondants se dessine sur des lignes correspondantes des deux rétines.

Quand deux plans correspondants se coupent, leur intersection se dessine sur des lignes correspondantes des deux rétines.

Soient

$$x = 0, \qquad y = 0, \qquad z = e,$$
$$\xi = 0, \qquad \upsilon = 0, \qquad \zeta = e,$$

les coordonnées des points de décussation des lignes de visée. D'après des propo-

sitions connues de géométrie analytique, l'équation d'un plan qui passe par le point x-y-z est de la forme

$$fx + gy + \frac{h}{e}(e - z) = 0.$$

Si nous posons $z = 0$, cette équation revient immédiatement à la forme 1g), et la méthode indiquée deux pages plus haut permet alors de trouver la ligne correspondante dans le plan des ξ-υ, et, par suite, le plan correspondant.

Si nous formons les équations

$$\left.\begin{array}{ll} A = ax + by & \mathfrak{A} = \alpha\xi + \beta\upsilon \\ B = cx + dy & \mathfrak{B} = \gamma\xi + \delta\upsilon \\ C = z - e & \mathfrak{C} = \zeta - e \end{array}\right\} \dots\dots\dots 3),$$

tous les plans dont les équations sont de la forme

$$\left.\begin{array}{l} lA + mB + nC = 0 \\ l\mathfrak{A} + m\mathfrak{B} + n\mathfrak{C} = 0 \end{array}\right\} \dots\dots\dots\dots 3a),$$

sont des plans correspondants. En effet, les équations sont de la forme de celles des plans qui passent par les points de décussation des lignes de visée, et si nous posons $z = 0$ et $\zeta = 0$, il nous reste, d'après la proposition exprimée en 1d) et en 1e), les équations de lignes correspondantes situées dans les plans des x-y et des ξ-υ. Les plans sont donc correspondants.

Les lignes de visée correspondantes se désignent comme étant les intersections de deux couples de plans correspondants.

Équations des droites qui apparaissent simples. — Jusqu'ici nous n'avons considéré la position des lignes correspondantes et des plans correspondants que par rapport à la position de chaque œil, mais nous n'avons encore aucunement tenu compte de la position des yeux l'un par rapport à l'autre et par rapport aux objets extérieurs. Pour le faire, figurons-nous la position de tous les points et celle des yeux eux-mêmes, rapportées à un système rectangulaire de coordonnées $\mathfrak{x}$-$\mathfrak{y}$-$\mathfrak{z}$. Si nous exprimons les x-y-z et les ξ-υ-ζ en fonction de ces nouvelles coordonnées, on sait que leurs valeurs deviennent des fonctions linéaires des $\mathfrak{x}$-$\mathfrak{y}$-$\mathfrak{z}$; il en est de même des quantités A, B, C et $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, qui sont des fonctions linéaires respectivement de x, y, z et de ξ, υ et ζ.

Par chaque point de l'espace, il passe en général une ligne droite qui apparaît simple. — En voici la démonstration. D'après 3a), les équations de plans correspondants sont

$$\left.\begin{array}{l} lA + mB + nC = 0 \\ l\mathfrak{A} + m\mathfrak{B} + n\mathfrak{C} = 0 \end{array}\right\} \dots\dots\dots\dots 3b).$$

Ces équations, réunies, donnent la position de leur intersection, laquelle apparaît simple, ainsi que nous l'avons fait observer, et qui est donc une ligne droite horoptérique.

Si, dans 3a), on remplace $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$ et $\mathfrak{z}$ par les coordonnées d'un point déterminé

quelconque, $\mathfrak{x}_0$, $\mathfrak{y}_0$, $\mathfrak{z}_0$, il n'en est pas moins possible de déterminer les coefficients l, m et n de telle sorte que les deux équations 3b) soient satisfaites. Comme, en multipliant par un facteur commun, on peut donner la valeur que l'on veut à l'un des coefficients, il n'y a que deux coefficients à déterminer, et en général les deux équations sont suffisantes à cet effet. On obtient :

$$\frac{l}{n} = \frac{B_0\mathfrak{C}_0 - \mathfrak{B}_0C_0}{A_0\mathfrak{B}_0 - \mathfrak{A}_0B_0},$$
$$\frac{m}{n} = \frac{A_0\mathfrak{C}_0 - \mathfrak{A}_0C_0}{\mathfrak{A}_0B_0 - A_0\mathfrak{B}_0},$$

relations par lesquels sont déterminés les rapports des quantités l, m et n qui satisfont aux équations 3a), et cela, en général, sans indétermination, si les fractions ci-dessus ne deviennent pas de la forme $0 : 0$, ce qui a lieu pour

$$\left.\begin{aligned} A_0\mathfrak{C}_0 &= \mathfrak{A}_0C_0, \\ B_0\mathfrak{C}_0 &= \mathfrak{B}_0C_0, \end{aligned}\right\}$$

d'où il résulte en général aussi

$$\left. A_0\mathfrak{B}_0 = \mathfrak{A}_0B_0 \right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3c).$$

Nous verrons plus tard que ces trois dernières équations répondent aux points de la courbe horoptérique. A l'exception de ces points, on peut donc mener, par chaque point de l'espace, une droite qui apparaisse simple et une seule, tandis qu'on peut en mener un nombre infini par les points donnés par les équations 3c).

Surfaces du second degré qui contiennent les droites vues simples. — Si l'on a deux couples de plans correspondants,

$$\left.\begin{aligned} l_0A + m_0B + n_0C &= 0, \quad l_0\mathfrak{A} + m_0\mathfrak{B} + n_0\mathfrak{C} = 0 \\ l_1A + m_1B + n_1C &= 0, \quad l_1\mathfrak{A} + m_1\mathfrak{B} + n_1\mathfrak{C} = 0 \end{aligned}\right\} \ldots\ldots 4),$$

les plans dont les équations sont inscrites à gauche se coupent suivant une certaine ligne de visée, et les deux autres se rencontrent suivant la ligne de visée correspondante. Multipliant les deux équations inférieures par un nouveau facteur k, on obtient, par addition avec les équations supérieures,

$$\left.\begin{aligned} (l_0 + kl_1)\,A + (m_0 + km_1)\,B + (n_0 + kn_1)\,C &= 0 \\ (l_0 + kl_1)\,\mathfrak{A} + (m_0 + km_1)\,\mathfrak{B} + (n_0 + kn_1)\,\mathfrak{C} &= 0 \end{aligned}\right\} \ldots\ldots 4a).$$

Ces équations sont celles d'un troisième couple de plans correspondants, mais qui passent par le même couple de ligne de visée que les plans de l'équation 4). En effet, comme les deux équations de gauche inscrites en 4) sont satisfaites pour les points de l'une des lignes de visée, la première des équations 4a) est nécessairement satisfaite pour ces mêmes points, c'est-à-dire que les points de cette ligne de visée sont également contenus dans le plan qui répond à cette équation. Le même raisonnement s'applique aux deux autres équations 4) et à la seconde des équations 4a).

Le système des deux équations 4a) représente une ligne droite vue simple, puisque ces deux équations répondent à des points correspondants. — Faisons maintenant varier d'une manière continue le facteur k ; en général, la ligne droite qui apparaît simple se déplace alors, et d'une manière continue. Toutes ces droites, qui résultent ainsi d'une variation continue de k, forment une surface dont l'équation s'obtient en éliminant le facteur k entre les deux équations 4a). Nous obtenons ainsi, pour l'équation de la surface qui est le lieu géométrique de la série des lignes en question, qui apparaissent simples :

$$[l_0 A + m_0 B + n_0 C]\,[l_1 \mathfrak{A} + m_1 \mathfrak{B} + n_1 \mathfrak{C}] \\ - [l_1 A + m_1 B + n_0 C]\,[l_1 \mathfrak{A} + m_0 \mathfrak{B} + n_0 \mathfrak{C}] = 0,$$

ou bien, en exécutant la multiplication :

$$(l_0 m_1 - l_1 m_0)\,[A\mathfrak{B} - \mathfrak{A}B] + (l_1 n_0 - l_0 n_1)\,[\mathfrak{A}C + A\mathfrak{C}] \\ + (m_0 n_1 - m_1 n_0)\,[B\mathfrak{C} - \mathfrak{B}C] = 0. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4b).$$

Comme les quantités A, B, C, ainsi que $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, sont des fonctions linéaires de $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, $\mathfrak{z}$, l'équation 1b) est celle d'une surface du second degré ; cette surface étant telle qu'on peut y tracer des lignes droites indéfinies, elle ne peut être qu'une *hyperboloïde à une nappe*, qui, dans les cas limites, peut se réduire à un *cône*, un *cylindre*, ou *deux plans qui se coupent*.

Comparons maintenant l'équation 4b) avec les équations 3c), qui donnent les points par lesquels on peut mener un nombre infini de lignes droites qui soient vues simples,

$$\left.\begin{aligned} A\mathfrak{C} - \mathfrak{A}C &= 0 \\ \mathfrak{B}C - B\mathfrak{C} &= 0 \\ \mathfrak{A}B - A\mathfrak{B} &= 0 \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4c),$$

nous voyons que ces équations sont également celles d'hyperboloïdes, et de même espèce que la surface 4b), cette dernière pouvant se ramener, pour des valeurs déterminées des coefficients l, m et n, à l'une quelconque des équations 4c).

Prenons deux de ces dernières équations, par exemple

$$\left.\begin{aligned} A\mathfrak{C} - \mathfrak{A}C &= 0 \\ B\mathfrak{C} - \mathfrak{B}C &= 0 \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4d),$$

ces surfaces se coupent nécessairement suivant une courbe, puisqu'elles ont au moins deux points communs, à savoir les points de décussation des lignes de visée, pour lesquels on a respectivement

$$A = B = C = 0$$

et

$$\mathfrak{A} = \mathfrak{B} = \mathfrak{C} = 0,$$

relations qui satisfont chacune aux équations des deux surfaces. D'autre part, il est facile de voir que la condition

$$C = \mathfrak{C} = 0$$

satisfait aux équations des deux surfaces, ce qui signifie que la droite d'intersection des deux plans $C = O$ et $\mathfrak{C} = O$ appartient aux deux hyperboloïdes et qu'elle est située, par conséquent, sur leur intersection. Cette intersection est donc formée d'une ligne droite $C = O$, $\mathfrak{C} = O$, et d'une autre branche qui sera, en général, une courbe à double courbure.

Nous pouvons éliminer $\mathfrak{C}$ entre les deux équations 4d) en multipliant la première par B, la seconde par A, et ajoutant membre à membre. Il vient

$$(A\mathfrak{B} - \mathfrak{A}B)\,C = 0.$$

Alors donc que C n'est pas nul, cette élimination nous apporte la troisième des équations 4c)

$$\mathfrak{A}B - A\mathfrak{B} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4e).$$

Si C était nul, il faudrait, d'après 4d), que l'on eût aussi $\mathfrak{C} = O$, ou bien, simultanément, $A = B = 0$. Ce n'est que dans ce dernier cas que l'équation 4e) serait valable; les conditions $A = B = C = 0$ appartiennent au point de décussation des lignes de visée de l'un des yeux,

Il résulte de là que, pour les points de la ligne d'intersection des surfaces 4d) qui n'appartiennent pas à la ligne droite $C = \mathfrak{C} = 0$, l'équation 4e) est également satisfaite, c'est-à-dire que les trois surfaces 4c) se coupent suivant une seule et même courbe à double courbure. Prises deux à deux, ces surfaces se coupent, de plus, suivant une ligne droite, mais qui, en général, n'appartient pas à la troisième d'entre elles.

Or, si trois surfaces

$$X = 0, \qquad Y = 0, \qquad Z = 0$$

ont une intersection commune, toute surface dont l'équation est de la forme

$$lX + mY + nZ = 0$$

passe par cette ligne d'intersection. En effet, comme les trois premières équations sont satisfaites pour les points de l'intersection, la dernière est nécessairement satisfaite pour ces mêmes points.

Or l'équation 4b) est déduite de cette manière des trois équations 4c). Par conséquent, les hyperboloïdes infiniment nombreux qui contiennent les lignes vues simples, passent tous par la ligne d'intersection commune des trois équations 4c).

Cette courbe est du *troisième degré*, ce qui veut dire qu'un plan peut la couper en trois points. En effet, comme l'intersection de deux surfaces du second degré, telles que les surfaces 4d), est en général du quatrième degré et peut être rencontrée en quatre ou deux points par un plan, mais que l'un de ces points d'intersection appartient nécessairement à la ligne droite (le parallélisme est considéré comme une intersection à l'infini), il ne reste que trois ou un point d'intersection pour la courbe. C'est ainsi, par exemple, que le plan de visée coupe la courbe horoptérique au point de fixation et aux centres des deux yeux. Si l'on se figure le plan sécant à l'infini, il doit encore couper la courbe en un ou en trois points,

ce qui donne alors un ou trois couples de branches de la courbe, lesquelles s'étendent en sens contraire jusqu'à l'infini.

La *courbe du troisième degré est horoptérique*, c'est-à-dire que les lignes de visée correspondantes se coupent sur cette courbe. En effet, nous pouvons écrire les équations 4c) sous la forme

$$\frac{A}{\mathfrak{A}} = \frac{B}{\mathfrak{B}} = \frac{C}{\mathfrak{C}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4f).$$

Les équations 4) sont celles de deux lignes de visée correspondantes. Prenons celles de l'une de ces lignes

$$\left.\begin{array}{l} l_0 A + m_0 B + n_0 C = 0 \\ l_1 A + m_1 B + n_1 C = 0 \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4g),$$

et supposons qu'elle passe par un point de la courbe du troisième degré, pour lequel les équations 4f) sont alors satisfaites, il résulte que si nous multiplions les deux équations 4g) par $\mathfrak{A} : A$ en tenant compte de 4f), on a aussi pour le même point

$$\begin{array}{l} l_0 \mathfrak{A} + m_0 \mathfrak{B} + n_0 \mathfrak{C} = 0 \\ l_1 \mathfrak{A} + m_1 \mathfrak{B} + n_1 \mathfrak{C} = 0, \end{array}$$

ce point appartient donc aussi à la ligne de visée correspondante. Les lignes de visée correspondantes se coupent donc deux à deux sur l'intersection commune des deux surfaces 4c). Cette intersection est la courbe horoptérique. Nous avons déjà dit plus haut que les points de cette courbe n'appartiennent pas nécessairement tous à l'horoptère.

Cônes du second degré qui passent par la courbe horoptérique. — Lorsque les deux lignes de visée correspondantes des équations 4) se coupent en un point, lequel appartient alors à la courbe horoptérique, tous les plans des équations 4a) qui sont menés par les deux lignes de visée passent également par ce point ; la même chose a donc lieu pour toutes les lignes d'intersection de ces plans, lesquelles constituent la surface du second degré. Une surface du second degré qui contient un système de lignes droites indéfinies passant toutes par un même point, est un *cône du second degré.*

Chaque point de la courbe horoptérique est donc le sommet d'un cône du second degré dont la surface contient la courbe horoptérique tout entière. Dans des cas particuliers, ce cône peut devenir un *cylindre* (cône dont le sommet est infiniment éloigné) ou un *couple de plans qui se coupent* (cône dont la base elliptique affecte une longueur d'axe infinie).

Toute ligne droite qui rencontre la courbe horoptérique en deux points appartient à deux cônes de ce genre, et par conséquent est vue simple.

Si l'un des cônes peut se transformer en un couple de plans, la courbe horoptérique se compose d'une section conique plane et d'une ligne droite, qui rencontre la section conique en un point. En effet, pour construire la courbe horoptérique, qu'on se figure, outre le cône réduit à deux plans, un autre cône dont

le sommet est situé dans l'un des plans, l'intersection commune se compose de deux droites et d'une section conique. Mais l'une des droites n'appartient pas à la courbe horoptérique.

Cas particuliers. — Pour calculer effectivement la courbe horoptérique dans les différents cas, il est nécessaire d'exprimer effectivement A, B, C et $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$ en fonction de $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$ et $\mathfrak{z}$. Nous prendrons le point de fixation pour origine de ce dernier système, le plan de visée pour plan des $\mathfrak{x}$–$\mathfrak{y}$; les $\mathfrak{z}$ seront comptés positivement en montant. Prenons pour axe des $\mathfrak{x}$ la bissectrice de l'angle de convergence des deux lignes visuelles ; nommons 2γ l'angle de convergence de ces deux lignes ; soient a pour l'œil droit et a_1 pour l'œil gauche, la distance du point de décussation des lignes de visée de chaque œil au point de fixation. Alors les coordonnées du point de décussation des lignes de visée sont,

Pour l'œil droit,	$\mathfrak{x} = a \cos \gamma,$	$\mathfrak{y} = a \sin \gamma,$	$\mathfrak{z} = 0,$
Pour l'œil gauche,	$\mathfrak{x} = a_1 \cos \gamma,$	$\mathfrak{x} = - a_1 \sin \gamma,$	$\mathfrak{z} = 0.$

Prenons un système de coordonnées auxiliaire, $\mathfrak{x}_1$ - $\mathfrak{y}_1$ - $\mathfrak{z}_1$, qui soit tourné autour de l'axe des $\mathfrak{z}$ du système précédent, d'un angle égal à γ, de telle sorte que son axe des $\mathfrak{x}_1$ coïncide avec la ligne visuelle de l'œil droit ; nous avons

$$\begin{aligned} \mathfrak{x}_1 &= \mathfrak{x} \cos \gamma + \mathfrak{y} \sin \gamma \\ \mathfrak{y}_1 &= - \mathfrak{x} \sin \gamma + \mathfrak{y} \cos \gamma \\ \mathfrak{z}_1 &= \mathfrak{z}, \end{aligned}$$

ce qui satisfait à ces deux conditions qu'on ait

$$\mathfrak{x}_1^2 + \mathfrak{y}_1^2 = \mathfrak{x}^2 + \mathfrak{y}^2$$

et que, pour $\mathfrak{x}_1 = a$ et $\mathfrak{y}_1 = 0$, on retrouve, pour les coordonnées du point de décussation de l'œil droit, les valeurs inscrites plus haut.

Dans le système des $\mathfrak{x}_1$ - $\mathfrak{y}_1$ - $\mathfrak{z}_1$, l'axe des $\mathfrak{x}_1$ coïncide avec l'axe des $\mathfrak{z}$ du système des x - y - z, employé plus haut dans les équations 1) à 1i), de sorte que

$$\mathfrak{x}_1 = a - z + e.$$

Le système de x - y - z est tourné, par rapport au premier, de l'angle θ que l'horizon rétinien fait avec le plan de visée ; on a donc

$$\begin{aligned} x &= \mathfrak{y}_1 \cos \theta - \mathfrak{z}_1 \sin \theta \\ y &= \mathfrak{y}_1 \sin \theta + \mathfrak{z}_1 \cos \theta, \end{aligned}$$

l'angle θ étant compté positivement pour une rotation de l'extrémité supérieure du méridien vertical vers la droite, c'est-à-dire pour le regard dirigé à gauche et en haut, ou à droite et en bas. En conséquence, on a

$$\left.\begin{aligned} x &= - \mathfrak{x} \sin \gamma \cos \theta + \mathfrak{y} \cos \gamma \cos \theta - \mathfrak{z} \sin \theta \\ y &= - \mathfrak{x} \sin \gamma \sin \theta + \mathfrak{y} \cos \gamma \sin \theta + \mathfrak{z} \cos \theta \\ z &= - \mathfrak{x} \cos \gamma \quad - \mathfrak{y} \sin \gamma \quad + a + e \end{aligned}\right\} \ldots\ldots \quad 5).$$

En partant de là, et tenant compte des équations 1h) et 1i) ainsi que des définitions posées alors, les équations 3) donnent les expressions

$$\left.\begin{aligned} A &= y = -\mathfrak{x}\sin\gamma\sin\theta + \mathfrak{y}\cos\gamma\sin\theta + \mathfrak{z}\cos\theta \\ B &= x\cos\varepsilon - y\sin\varepsilon \\ &= -\mathfrak{x}\sin\gamma\cos(\theta+\varepsilon) + \mathfrak{y}\cos\gamma\cos(\theta+\varepsilon) - \mathfrak{z}\sin(\theta+\varepsilon) \\ C &= z - e = a - \mathfrak{x}\cos\gamma - \mathfrak{y}\sin\gamma \end{aligned}\right\} \ldots \text{5a)}.$$

D'une manière analogue, si θ_1 est l'angle de torsion pour l'œil gauche, les expressions $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$ et $\mathfrak{C}$ deviennent

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{A} &= +\mathfrak{x}\sin\gamma\sin\theta_1 + \mathfrak{y}\cos\gamma\sin\theta_1 + \mathfrak{z}\cos\theta_1 \\ \mathfrak{B} &= \mathfrak{x}\sin\gamma\cos(\theta_1-\varepsilon) + \mathfrak{y}\cos\gamma\cos(\theta_1-\varepsilon) - \mathfrak{z}\sin(\theta_1-\varepsilon) \\ \mathfrak{C} &= a_1 - \mathfrak{x}\cos\gamma + \mathfrak{y}\sin\gamma \end{aligned}\right\} \ldots\ldots \text{5b)}.$$

Formes simplifiées de la courbe horoptérique. — Des simplifications de ce genre se rencontrent en particulier dans les cas où un couple de plans correspondants coïncident complétement. Alors, en effet, toutes celles des ignes de visée de chaque œil qui sont comprises dans ce plan rencontrent nécessairement les lignes de visée correspondantes de l'autre, et donnent chacune un point de la courbe horoptérique situé dans le plan. Si les lignes de visée venaient à se trouver parallèles, elles donnent des points infiniment éloignés de cette courbe. Alors une partie de la courbe horoptérique est une courbe plane ou une ligne droite. — Dans le premier cas, prenons un point quelconque de cette courbe pour sommet d'un cône mené par la courbe horoptérique, une partie de cette surface conique devient un plan, et le reste ne peut nécessairement plus être autre chose qu'un second plan. Ce n'est, en effet, que dans le cas limite du cône qui se transforme en deux plans qui se coupent, qu'une partie de la surface conique peut être plane. Si ces autres plans, qui ne passent pas par la courbe plane qui fait partie de l'horoptère, possèdent une ligne d'intersection commune, cette ligne ne peut être qu'une droite passant par un point de la courbe plane en question. En même temps, on voit que la courbe doit être du second degré, car cette condition est nécessaire pour que les cônes, dont les sommets sont sur la ligne droite, soient des cônes du second degré. — Dans le second cas, celui où la courbe des intersections des lignes de visée correspondantes est une ligne droite, chaque cône qui a pour sommet un point de la courbe horoptérique situé en dehors de cette ligne droite, comprend nécessairement une partie plane ; il se compose donc de deux plans qui se coupent, et, par suite, le reste de la courbe horoptérique doit être une courbe plane.

Il est facile de voir aussi que, lorsque la courbe horoptérique se compose d'une ligne droite et d'une section conique, les centres des yeux doivent se trouver sur cette dernière, et que le plan de cette courbe constitue un couple de plans correspondants des deux yeux, qui coïncident. En effet, il est impossible qu'un œil étant sur la courbe, l'autre soit sur la ligne droite; car, s'il en était ainsi, un faisceau de lignes de visée mené du premier œil aux points de la courbe serait dans un plan, tandis que, pour le second, il serait sur une surface conique courbe. Et

si les deux yeux étaient situés sur la ligne droite, cette ligne devrait jouer le rôle d'un couple de lignes de visée correspondantes ; s'il existe alors, en dehors de cette ligne droite, un autre point de la courbe horoptérique, tel que le point de fixation, par exemple, le plan mené par ce point et par les yeux jouerait le rôle d'un couple de plans correspondants, et devrait refermer une courbe horoptérique.

La condition pour que la courbe horoptérique puisse être formée d'une section conique plane et d'une ligne droite qui rencontre cette courbe, est donc qu'il existe des valeurs de l, m et n pour lesquelles les équations

$$lA + mB + nC = 0$$
$$l\mathfrak{A} + m\mathfrak{B} + n\mathfrak{C} = 0$$

deviennent identiques. Si, à l'aide des équations 5a) et 5b) on amène ces équations sous la forme

$$f\mathfrak{x} + f_1\mathfrak{y} + f_2\mathfrak{z} + f_3 = 0$$
$$\varphi\mathfrak{x} + \varphi_1\mathfrak{y} + \varphi_2\mathfrak{z} + \varphi_3 = 0,$$

il faut qu'on ait

$$\frac{f}{\varphi} = \frac{f_1}{\varphi_1} = \frac{f_2}{\varphi_2} = \frac{f_3}{\varphi_3}.$$

La dernière fraction est indépendante de l, m et n ; dans les trois premières, les numérateurs et les dénominateurs sont des fonctions linéaires de l, m et n. En égalant chacune des trois fractions à la dernière, on obtient entre l, m et n trois équations linéaires sans terme constant, d'où il résulte que le déterminant des coefficients de l, m et n doit être nul. Ceci donne, entre les quantités α, α_1, θ, θ_1 et γ, une équation qui doit être satisfaite pour que la courbe horoptérique affecte la forme indiquée. Il n'est pas nécessaire de faire ici ce calcul, car nous ne portons un intérêt particulier qu'à celles des positions des yeux qui sont compatibles avec la loi de Listing.

Géométriquement, la condition pour que la courbe prenne la forme demandée peut s'exprimer de la manière suivante. Nommons F la ligne qui joint les deux points de décussation des lignes de visée. Cette ligne peut être considérée comme étant une des lignes de visée de l'un ou de l'autre œil. Si nous la considérons comme telle pour l'œil droit, il faut qu'il existe une ligne de visée correspondante H dans l'œil gauche ; si c'est pour le gauche, il doit exister une ligne correspondante G dans l'œil droit. Si les lignes G et H se coupent, elles sont dans un même plan avec F, et ce plan est alors correspondant pour les deux yeux, car il contient deux couples de lignes de visée correspondantes, F et G pour l'œil droit, F et H pour l'œil gauche. Pour toute position des yeux il est donc possible, en faisant tourner l'un d'eux autour de sa ligne de visée, d'obtenir une position qui donne à la courbe horoptérique la forme simple demandée.

Pour les yeux qui suivent la loi de Listing, qui sont construits symétriquement, et dont les horizons rétiniens sont situés dans le plan de visée pour une position parallèle des lignes de regard, il est clair que la condition indiquée est remplie : *premièrement*, pour les positions symétriques des yeux, pour lesquelles les lignes G et H, se trouvant également symétriques, se coupent nécessairement dans le plan

de visée; *secondement*, pour la position primaire du plan de visée, parce qu'alors ce plan contient les horizons rétiniens, lesquels sont correspondants. Ce ne sont d'ailleurs théoriquement pas les seuls cas de ce genre : pour les yeux qui suivent exactement la loi de Listing, il existerait, pour des directions abaissées et latérales, certaines distances très-grandes du point de fixation pour lesquelles le plan de visée serait correspondant dans les deux yeux, et contiendrait, par suite, une ellipse plane comme courbe horoptérique. Mais ces cas ne présentent absolument aucune importance pratique, car pour les distances très-grandes à partir du point de fixation, les observations sur la position des points qui sont vus simples deviennent trop incertaines. Pour les yeux qui sont dépourvus de l'aberration du méridien vertical apparent, les positions en question du point de fixation s'éloignent à l'infini.

Dans ces cas, en négligeant certaines petites quantités, si l'on désigne par α l'angle d'élévation, par γ l'angle de latéralité d'un œil idéal situé au milieu de la ligne qui joint les deux yeux, par a la demi-distance des yeux, par ε la moitié de l'angle que forment entre eux les méridiens verticaux apparents, on a, pour la distance ρ du point de fixation au centre de l'œil cyclopéen,

$$\rho = \pm \frac{a \cos \gamma}{\sin \varepsilon \sin \beta \cos \beta}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}.$$

Dans le voisinage du plan médian, où l'on a $\gamma = 0$, et dans le voisinage de la position primaire du plan de visée, où l'on a $\alpha = 0$, β devient nul et ρ devient infini. Cette distance ne prend de valeurs positives que pour des valeurs négatives de α, c'est-à-dire au-dessous du plan de visée.

Nous allons traiter maintenant les deux cas que nous avons cités d'abord, et où l'horoptère se compose d'une ligne droite et d'une courbe plane, cas qui présentent une certaine importance au point de vue de l'observation.

A. — *Le point de fixation est dans le plan médian et à une distance infinie.* — Il vient alors, dans les équations 5a) et 5b),

$$a = a_1 \qquad \theta = -\theta_1$$

$$\left.\begin{aligned}
A &= -\mathfrak{x} \sin \gamma \sin \theta + \mathfrak{y} \cos \gamma \sin \theta + \mathfrak{z} \cos \theta \\
B &= -\mathfrak{x} \sin \gamma \cos (\theta + \varepsilon) + \mathfrak{y} \cos \gamma \cos (\theta + \varepsilon) - \mathfrak{z} \sin (\theta + \varepsilon) \\
C &= a - \mathfrak{x} \cos \gamma - \mathfrak{y} \sin \gamma \\
\mathfrak{A} &= -\mathfrak{x} \sin \gamma \sin \theta - \mathfrak{y} \cos \gamma \sin \theta + \mathfrak{z} \cos \theta \\
\mathfrak{B} &= \mathfrak{x} \sin \gamma \cos (\theta + \varepsilon) + \mathfrak{y} \cos \gamma \cos (\theta + \varepsilon) + \mathfrak{z} \sin (\theta + \varepsilon) \\
\mathfrak{C} &= a - \mathfrak{x} \cos \gamma + \mathfrak{y} \sin \gamma
\end{aligned}\right\} \quad . \; . \; . \; 6).$$

Les plans correspondants qui coïncident s'obtiennent en posant

$$A \sin \gamma + C \cos \gamma \sin \theta = 0$$
$$\mathfrak{A} \sin \gamma + \mathfrak{C} \cos \gamma \sin \theta = 0;$$

en effet, pourvu que sin γ et sin θ ne soient pas nuls simultanément, ces deux équations donnent pareillement

$$\mathfrak{x} \sin\theta - \mathfrak{z} \sin\gamma \cos\theta - a \cos\gamma \sin\theta = 0 \quad \ldots\ldots \quad 6a).$$

Tel est donc le plan de la section conique. De plus, pour

$$\mathfrak{y} = 0 \quad \text{et} \quad \mathfrak{x} \sin\gamma \cos(\theta+\varepsilon) = -\mathfrak{z} \sin(\theta+\varepsilon). \quad \ldots\ldots \quad 6b)$$

il vient

$$\begin{aligned} A &= \mathfrak{A} = -\mathfrak{x} \sin\gamma \sin\theta + \mathfrak{z} \cos\theta \\ B &= \mathfrak{B} = 0 \\ C &= \mathfrak{C} = a - \mathfrak{x} \cos\gamma. \end{aligned}$$

Les points de la ligne droite donnée par les équations 6b) sont donc correspondants dans les deux yeux, et cette ligne est la ligne droite horoptérique.

Les génératrices du cylindre qui contient la ligne horoptérique, ainsi que les plans qui se coupent suivant les génératrices du cylindre, doivent être parallèles à cette ligne. Si l'on forme les équations des plans correspondants :

$$\begin{aligned} A \cos\gamma \sin(\theta+\varepsilon) - C \sin\gamma \cos\varepsilon &= 0 \\ \mathfrak{A} \cos\gamma \quad (\theta+\varepsilon) - \mathfrak{C} \sin\gamma \cos\varepsilon &= 0, \end{aligned}$$

pour $\mathfrak{x} = 0$ elles se réduisent à

$$\frac{a \operatorname{tang}\gamma \cos\varepsilon}{\cos\theta} - \mathfrak{x} \sin\gamma \cos(\theta+\varepsilon) - \mathfrak{z} \sin(\theta+\varepsilon) = 0.$$

Ainsi qu'on le voit par la comparaison avec 6b), leur intersection est donc parallèle à la ligne droite horoptérique, et, comme cette ligne, elle est située dans le plan médian.

D'autre part, d'après 6b), les plans

$$B = \mathfrak{B} = 0$$

se coupent suivant la ligne droite horoptérique, et les plans correspondants

$$\begin{aligned} A \cos\gamma \sin(\theta+\varepsilon) + \varkappa B - C \sin\gamma \cos\varepsilon &= 0 \\ \mathfrak{A} \cos\gamma \sin(\theta+\varepsilon) + \varkappa \mathfrak{B} - \mathfrak{C} \sin\gamma \cos\varepsilon &= 0 \end{aligned}$$

se coupent également suivant des lignes qui sont parallèles à la ligne droite horoptérique. Éliminant $\varkappa$ entre ces équations, on obtient

$$(A\mathfrak{B} - B\mathfrak{A}) \cos\gamma \sin(\theta+\varepsilon) - (\mathfrak{B}C - B\mathfrak{C}) \sin\gamma \cos\varepsilon = 0$$

pour l'équation du cylindre. Après réduction, cette équation donne

$$\left.\begin{aligned} \frac{a^2 \sin^2\gamma \cos^2\varepsilon}{4 \cos^2\gamma \cos^2\theta} &= \mathfrak{y}^2 \left[\sin^2\gamma \cos^2(\theta+\varepsilon) + \frac{\sin\theta \,.\, \sin 2(\theta+\varepsilon)}{2\cos\theta}\right] \\ &+ \left[\mathfrak{x} \sin\gamma \cos(\theta+\varepsilon) + \mathfrak{z} \sin(\theta+\varepsilon) - \frac{a \sin\gamma \cos\varepsilon}{2 \cos\gamma \cos\theta}\right]^2 \end{aligned}\right\} \quad 6c).$$

C'est là l'équation d'un cylindre que les plans $\mathfrak{z}$ = Const. coupent suivant des sections coniques dont l'axe des $\mathfrak{x}$ est toujours réel, à savoir

$$X = \frac{a \cos \varepsilon}{2 \cos \gamma \cos \theta \cos (\theta + \varepsilon)}.$$

L'axe des y, au contraire, n'est pas nécessairement réel ; son carré est

$$Y^2 = \frac{a^2 \operatorname{tang}^2 \gamma \cos^2 \varepsilon}{4 \cos \theta \cos (\theta + \varepsilon) [\sin^2 \gamma \cos (\theta + \varepsilon) \cos \theta + \sin \theta \sin (\theta + \varepsilon)]}$$

Dans cette expression, $\cos \theta$ et $\cos (\theta + \varepsilon)$ sont toujours positifs pour les mouvements exécutables des yeux. Mais si le produit $\operatorname{tang} \theta \operatorname{tang} (\theta + \varepsilon)$ devient négatif et plus grand, en valeur absolue, que $\sin^2 \gamma$, la valeur de Y devient imaginaire et la section devient une hyperbole. Pour que ceci ait lieu, comme ε possède en général une valeur positive et petite, il faut que θ affecte des valeurs négatives encore plus petites, ce qui ne peut se présenter que pour une position descendante des lignes de regard et une grande distance du point de fixation.

L'axe des Y de cette section conique située dans le plan de visée, coïncide avec celui de la courbe horoptérique plane ; pour trouver l'axe médian de cette dernière, transportons dans 6c) la valeur de $\mathfrak{z}$ tirée de l'équation 6a) et faisons en même temps $\mathfrak{y} = 0$; nous pouvons alors trouver les coordonnées $\mathfrak{x}_0$-$\mathfrak{z}_0$ et $\mathfrak{x}_1$-$\mathfrak{z}_1$ de l'une et l'autre extrémité de cet axe. La valeur toujours réelle de l'axe X_1 est donnée alors par l'équation

$$X_1^2 = \frac{1}{4} (\mathfrak{x}_1 - \mathfrak{x}_0)^2 + \frac{1}{4} (\mathfrak{z}_1 - \mathfrak{z}_0)^2$$

$$= \frac{a^2 \sin^2 \gamma \cos^2 \varepsilon (\sin^2 \gamma \cos^2 \theta + \sin^2 \theta)}{4 \cos^2 \gamma \cos^2 \theta [\sin^2 \gamma \cos \theta \cos (\theta + \varepsilon) + \sin \theta . \sin (\theta + \varepsilon)]^2}$$

et il vient

$$\frac{X_1^2}{Y^2} = \frac{\sin^2 \gamma + \operatorname{tang}^2 \theta}{\sin^2 \gamma + \operatorname{tang} \theta . \operatorname{tang} (\theta + \varepsilon)}.$$

Au lieu du cylindre considéré jusqu'ici, on peut encore employer, pour la construction de la courbe horoptérique, le cône de l'horoptère des verticales

$$B\mathfrak{C} - \mathfrak{B}C = 0,$$

ou bien

$$[\mathfrak{x} \sin \gamma \cos (\theta + \varepsilon) + \mathfrak{z} \sin (\theta + \varepsilon)] [a - \mathfrak{x} \cos \gamma] - \mathfrak{y}^2 \cos \gamma \sin \gamma \cos (\theta + \varepsilon) = 0.$$

Pour $z = 0$, c'est-à-dire dans le plan de visée, la courbe d'intersection est un cercle donné par l'équation

$$\left(\mathfrak{x} - \frac{a}{2 \cos \gamma}\right)^2 + \mathfrak{y}^2 = \frac{a^2}{4 \cos^2 \gamma}.$$

Ce cercle passe par les points

$$\mathfrak{x} = 0 \qquad \mathfrak{y} = 0,$$
$$\mathfrak{x} = \frac{a}{\cos\gamma} \qquad \mathfrak{y} = 0,$$
$$\mathfrak{x} = a\cos\gamma \qquad \mathfrak{y} = a\sin\gamma,$$
$$\mathfrak{x} = a\cos\gamma \qquad \mathfrak{y} = -a\sin\gamma.$$

Les deux premiers de ces points sont le point de fixation et celui qui lui est diamétralement opposé ; les deux autres sont les centres des deux yeux. Le cercle est déterminé par ces conditions.

Le cône coupe le plan médian $\mathfrak{y} = 0$ suivant les deux lignes

$$\mathfrak{x}\sin\gamma\cos(\theta+\varepsilon) = -\mathfrak{z}\sin(\theta+\varepsilon)$$
$$\mathfrak{x}\cos\gamma = a.$$

La première est la ligne droite horoptérique; la seconde est perpendiculaire au plan de visée et coupe ce plan au point qui, sur le cercle, est diamétralement opposé au point de fixation. Les coordonnées du sommet du cône sont donc

$$\mathfrak{x} = \frac{a}{\cos\gamma}$$
$$\mathfrak{z} = -a\,\text{tang}\,\gamma\,.\,\text{cotang}\,(\theta+\varepsilon).$$

Pour trouver la position qu'occupent les lignes et les plans en question, pour des yeux dont les mouvements suivent la loi de Listing, nommant β l'angle ascensionnel compris entre la position primaire du plan de visée et sa position actuelle, nous avons

$$\text{tang}\,\theta = \frac{\sin\gamma\sin\beta}{\cos\gamma+\cos\beta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 7).$$

L'équation 6a) du plan de la courbe horoptérique devient alors

$$(\mathfrak{x} - a\cos\gamma) - \mathfrak{z}\,\frac{\cos\gamma+\cos\beta}{\sin\beta} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 7a).$$

Dans ces conditions, les équations pour la position primaire des lignes de regard sont

$$\mathfrak{y} = \pm a\sin\gamma \quad \text{et} \quad \mathfrak{z} = (\mathfrak{x} - a\cos\gamma)\,\text{tang}\,\beta. \quad \ldots\ldots \quad 7b).$$

Les équations pour la position actuelle des lignes de regard sont

$$\mathfrak{z} = 0 \quad \text{et} \quad \mathfrak{y} = \pm\,\mathfrak{x}\,\text{tang}\,\gamma \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 7c).$$

Sur ces dernières lignes, le point de fixation est à la distance a des centres des yeux. Si, sur les lignes 7b), nous marquons un point à la distance a du centre de l'œil considéré, les coordonnées de ce point sont

$$\mathfrak{x} = a(\cos\gamma - \cos\beta), \qquad \mathfrak{y} = \pm a\sin\gamma, \qquad \mathfrak{z} = -a\sin\beta. \quad \ldots \quad 7d).$$

Les coordonnées d'un point situé, au contraire, à égale distance de ce point 7d) et du point de fixation, pour lequel on a

$$\mathfrak{x} = 0, \qquad \mathfrak{y} = 0, \qquad \mathfrak{z} = 0,$$

sont moitié moins grandes que les coordonnées 7d), c'est-à-dire

$$\mathfrak{x} = \frac{1}{2}\, a\, (\cos\gamma - \cos\beta), \qquad \mathfrak{y} = \pm \frac{1}{2}\, a \sin\gamma, \qquad \mathfrak{z} = -\frac{1}{2}\, a \sin\beta \ldots\; 7e).$$

Or ces dernières valeurs satisfont l'équation 7a) ; les deux points 7e) sont donc situés dans le plan de la courbe horoptérique.

On voit donc que, pour une position médiane du point de fixation, pour trouver le plan de la section conique qui fait partie de la courbe horoptérique, il faut prendre les bissectrices des angles que la position actuelle de chaque ligne de regard fait avec sa position primaire, et faire passer un plan par ces bissectrices. Cette circonstance a été utilisée pour faire la construction qu'on a vue plus haut (fig. 207, p. 906).

Enfin, si l'on fait passer, par le centre de chaque œil, un plan perpendiculaire à la ligne menée de ce centre au point de l'équation 7e) qui est relatif à cet œil, l'équation de ce plan est

$$(\mathfrak{x} - a\cos\gamma)(\cos\gamma + \cos\beta) - (a\sin\gamma \mp \mathfrak{y})\sin\gamma + \mathfrak{z}\sin\beta = 0 \;.\;.\;.\; 7f).$$

Si l'on prend, de plus, un plan situé à la distance $-a \sin\gamma$ cotang ε au-dessous de la position primaire du plan de visée 7d), et dont l'équation est

$$\mathfrak{z}\,.\,\cos\beta + a\ \mathrm{cotang}\,\varepsilon\,.\,\sin\gamma = (\mathfrak{x} - a\cos\gamma)\sin\beta \;.\;.\;.\;.\;.\; 7g),$$

on trouve que les plans qui passent par la ligne droite horoptérique, à savoir

$$\mathfrak{x}\sin\gamma + \mathfrak{z}\ \mathrm{tang}\,(\theta + \varepsilon) = 0, \qquad \mathfrak{y} = 0,$$

et les deux plans 7f) et 7g), passent par un même point ; car, en tenant compte de 7), les valeurs de $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$ et $\mathfrak{z}$ tirées de trois de ces équations et transportées dans la quatrième, en font une identité. C'est là-dessus que repose la construction, donnée plus haut (fig. 208), de la ligne droite horoptérique.

B. — *Point de fixation situé dans le plan médian et à une distance infinie.* — Le cas où $\sin\gamma$ et $\sin\theta$ sont nuls en même temps, cas que nous avons dû laisser de côté plus haut en posant l'équation 6a), mérite d'être examiné à part. — Les lignes visuelles, parallèles entre elles, sont dirigées au loin. La distance a du point de fixation et l'abscisse $\mathfrak{x}$ deviennent infinies, mais la quantité $a \sin\gamma$, qui est égale au demi-écartement des yeux, reste constante ; nous l'appellerons b et nous désignerons $\mathfrak{x} - a$ par ξ. Il vient alors

$$A = \mathfrak{z} \qquad\qquad \mathfrak{A} = \mathfrak{z}$$
$$B = -b\cos\varepsilon + \mathfrak{y}\cos\varepsilon - \mathfrak{z}\sin\varepsilon \qquad \mathfrak{B} = b\cos\varepsilon + \mathfrak{y}\cos\varepsilon + \mathfrak{z}\sin\varepsilon$$
$$C = -\xi \qquad\qquad \mathfrak{C} = -\xi.$$

Les conditions de la correspondance,

$$A = \mathfrak{A}, \qquad B = \mathfrak{B}, \qquad C = \mathfrak{C},$$

sont donc alors complétement remplies pour tous les points pour lesquels on a

$$b \cos \varepsilon + \mathfrak{z} \sin \varepsilon = 0.$$

Ces points sont ceux d'un plan situé à une distance $-b$ cotang ε au-dessous du plan de visée. Ce plan constitue donc ici l'horoptère.

C. — *Point de fixation situé dans la position primaire du plan de visée.* — D'après la loi de Listing, on a

$$\theta = \theta' = 0;$$

les équations 5a) et 5b) donnent donc

$$\left.\begin{aligned} A &= \mathfrak{z} \\ B &= -\mathfrak{x} \sin \gamma \cos \varepsilon + \mathfrak{y} \cos \gamma \cos \varepsilon - \mathfrak{z} \sin \varepsilon \\ C &= a - \mathfrak{x} \cos \gamma - \mathfrak{y} \sin \gamma \\ \mathfrak{A} &= \mathfrak{z} \\ \mathfrak{B} &= \mathfrak{x} \sin \gamma \cos \varepsilon + \mathfrak{y} \cos \gamma \cos \varepsilon + \mathfrak{z} \sin \varepsilon \\ \mathfrak{C} &= a_1 - \mathfrak{x} \cos \gamma + \mathfrak{y} \sin \gamma \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad 8).$$

Le cône

$$A\mathfrak{C} - \mathfrak{A}C = 0$$

devient

$$\mathfrak{z}\,[a_1 - a + 2\mathfrak{y} \sin \gamma] = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 8a),$$

et se décompose donc dans les deux plans

$$\mathfrak{z} = 0 \quad \text{et} \quad \mathfrak{y} = \frac{a - a_1}{2 \sin \gamma} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 8b).$$

La surface

$$A\mathfrak{B} - \mathfrak{A}B = 0$$

devient

$$2\mathfrak{z}\,[\mathfrak{x} \sin \gamma \cos \varepsilon + \mathfrak{z} \sin \varepsilon] = 0$$

et se décompose donc dans les deux plans

$$\mathfrak{z} = 0 \quad \text{et} \quad \mathfrak{x} \sin \gamma + \mathfrak{z} \text{ tang } \varepsilon = 0. \quad \ldots\ldots\ldots \quad 8).$$

Enfin, la surface

$$B\mathfrak{C} - \mathfrak{B}C = 0$$

devient

$$\begin{aligned} -(\mathfrak{x} \sin \gamma \cos \varepsilon + \mathfrak{z} \sin \varepsilon)(a_1 + a - 2\mathfrak{x} \cos \gamma) + 2\mathfrak{y}^2 \cos \gamma \sin \gamma \cos \varepsilon \\ + (a_1 - a)\,\mathfrak{y} \cos \gamma \cos \varepsilon = 0, \end{aligned}$$

ce qui est l'équation d'une hyperboloïde. Son intersection avec le plan $\mathfrak{z} = 0$ est

$$\left(\mathfrak{x} - \frac{a + a_1}{4 \cos \gamma}\right)^2 + \left(\mathfrak{y} + \frac{a_1 - a}{4 \sin \gamma}\right)^2 = \frac{1}{4} \cdot \frac{a^2 + a_1^2 - 2aa_1 \cos 2\gamma}{(\sin 2\gamma)^2},$$

ce qui est un cercle qui passe par les points

$$\mathfrak{x} = 0 \qquad \mathfrak{y} = 0,$$
$$\mathfrak{x} = a \cos \gamma \qquad \mathfrak{y} = a \sin \gamma,$$
$$\mathfrak{x} = a_1 \cos \gamma \qquad \mathfrak{y} = - a_1 \sin \gamma;$$

c'est le cercle horoptérique de Müller.

En conséquence, la ligne droite horoptérique est la ligne définie par les équations 8b) et 8c), à savoir

$$\mathfrak{y} = \frac{a - a_1}{2 \sin \gamma} \quad \text{et} \quad \mathfrak{x} \sin \gamma + \mathfrak{z} \operatorname{tang} \varepsilon = 0.$$

Son intersection avec le plan de visée est aussi située dans le cercle horoptérique ; sa position est parallèle au plan médian $\mathfrak{y} = 0$. La distance du point d'intersection aux centres des yeux est la même de part et d'autre, à savoir

$$\frac{\sqrt{a^2 - 2aa_1 \cos 2\gamma + a_1^2}}{2 \sin \gamma} = \frac{b}{\sin \gamma},$$

si l'on désigne par b le demi-intervalle des deux yeux. Si l'on fait

$$\mathfrak{x} = \frac{b}{\sin \gamma},$$

il vient

$$\mathfrak{z} = - \frac{b}{\operatorname{tang} \varepsilon}.$$

Mais cette dernière quantité est la distance de la surface horoptérique au-dessous du plan de visée, lorsque les deux lignes visuelles sont parallèles au plan médian, d'où résulte la construction indiquée plus haut pour la ligne droite horoptérique.

La question des causes de la vision simple et de la vision double est déjà très-ancienne. — Déjà GALIEN (1) (né en 113 ap. J. C.) admit, pour expliquer la vision simple, une réunion des fibres nerveuses dans le chiasma des nerfs optiques. Cette hypothèse anatomique fut encore adoptée plus tard par I. NEWTON (2), ROHAULT (3), HARTLEY (4), W. H. WOLLASTON (5), Joh. MÜLLER (6). — Une seconde opinion chercha à résoudre la question en admettant que nous ne voyons jamais qu'avec un œil à la fois. PORTA (7) était de cet avis, et il fut suivi par GASSENDI (8), TACQUET, GALL et DU TOUR (9). Ce dernier s'appuya surtout sur les phénomènes d'antagonisme des deux champs visuels, et se borna à admettre que nous verrions tantôt simultanément avec les deux yeux, et tantôt avec un seul œil.

Une troisième opinion, différente des précédentes, et connue sous le nom de théorie des

(1) De usu partium, lib. X, cap. 12.
(2) Opticks, 1717, p. 320, Query 15.
(3) Traité de physique. Paris, 1671 et 1682, part. I, chap. 31.
(4) Observations on man, I, 207.
(5) *Phil. Trans.*, 1824, I, 222.
(6) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns. Leipzig, 1826.
(7) De refractione, 1593, p. 142.
(8) Opera, vol. II, p. 395.
(9) *Acta Paris.*, 1743, p. 334. — *Mém. des savants étrang.*, III, 514 ; IV, 499; V, 677.

projections, considère la vision simple comme attribuable à la manière dont nous interprétons nos sensations visuelles. KEPPLER (1) s'exprime déjà dans ce sens. AGUILONIUS (2) établit, à la même époque, la théorie d'après laquelle nous projetterions toujours les images visuelles sur un certain plan passant par le point de fixation, auquel il donna le nom d'horoptère ; les points seraient vus simples ou doubles, suivant que leur projection serait simple ou double. PORTERFIELD se rapprocha davantage de l'opinion de KEPPLER, en admettant que les objets nous paraissent simples parce que chaque œil les localise dans leur position réelle, ce qu'on formula plus tard en disant que nous localisons les objets au point d'intersection des lignes de visée. Exprimée sous cette forme, la loi serait en contradiction avec l'existence des images doubles. PORTERFIELD parle bien des images doubles qui accompagnent une position forcée de l'œil produite par une pression ou par une traction, mais admet qu'il y a alors erreur sur la position de l'œil.

Ces trois opinions, plus ou moins combinées, forment la base des théories récentes ; mais l'examen plus exact des faits a été un progrès considérable obtenu dans ces derniers temps.

J. MÜLLER (3) est le premier qui ait formulé la loi des phénomènes d'une manière un peu détaillée et relativement exacte ; il dit que nous voyons simple ou double, suivant que les images du point considéré se forment sur des points identiques ou non des deux rétines. Pour la position des points identiques, il donna cette règle, approximativement vraie, qu'ils sont également éloignés des milieux des deux rétines, et dans le même sens. Il ne se prononce pas nettement en faveur d'une disposition anatomique particulière (réunion des fibres identiques dans le chiasma des nerfs optiques ou dans le cerveau), mais il soutient que l'identité doit reconnaître une cause organique.

C'est surtout VOLKMANN (4) qui donna plus tard des déterminations exactes de la position des points identiques ou correspondants. Mais la position observée des points identiques était incompatible avec l'hypothèse d'AGUILONIUS, d'après laquelle l'horoptère serait un plan. VIETH (5) et JOH. MÜLLER avaient déjà reconnu que l'intersection de l'horoptère avec le plan de visée doit être un cercle passant par le point de fixation et par les deux yeux. Plus tard, A. P. PRÉVOST (6) et BURCKHARDT montrèrent que, dans les positions de l'œil qui n'exigent pas de torsion, une ligne droite vient s'ajouter au cercle de MÜLLER, et que, par conséquent, l'horoptère n'est en général pas une surface. HERING (7) démontra que l'horoptère doit, en général, être toujours une ligne ; dès lors il fallut abandonner l'idée d'un horoptère conforme à la définition d'AGUILONIUS. La solution générale du problème de l'horoptère, qui était une question purement mathématique, et qui supposait connue la loi des mouvements des yeux, a été donnée à peu près simultanément par moi et par M. HERING (8). Il faut mentionner

---

(1) Dioptrice, propos. LXII.

(2) Opticorum libri VI. Antwerp., 1613.

(3) Beiträge zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinns. Leipzig, 1826, p. 71. — Lehrbuch der Physiologie, 1840, II, 376-87.

(4) A. W. VOLKMANN, Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik, Zweites Heft, Leipzig, 1864.

(5) *Gilbert's Annalen*, LVIII, 233.

(6) Essai sur la théorie de la vision binoculaire. Genève, 1843. — *Poggendorff's Ann.*, 1844, LXII, 548.

(7) Beiträge zur Physiologie, Heft III, p. 196-199 (Leipzig), 1863, Heft IV (1864).

(8) Ma première communication fut faite, le 24 octobre 1862, à la Société de médecine et d'histoire naturelle de Heidelberg, et le manuscrit fut livré le 8 novembre 1862. C'est dans ce travail qu'on rencontre, pour la première fois, des équations pour la forme de l'horoptère dans le cas général ; mais elles n'y sont pas encore sous la forme la plus simple, puisque l'horoptère y est considéré comme l'intersection de deux surfaces : l'une du second et l'autre du quatrième degré. Il n'y est pas encore tenu compte, non plus, de l'aberration du méridien vertical apparent. La forme de l'horoptère, dans le cas général, y est sommairement décrite. Avant la publication de cette communication préalable (automne 1863), parut le 3e fascicule des *Beiträge zur Physiologie* de M. Hering, où il démontre que l'horoptère doit toujours être au moins une ligne (sinon une surface), mais où il ne détermine véritablement la forme de cette ligne que pour les cas simples, déjà connus. Alors parut mon mémoire sur l'horoptère (*Archiv für Ophthalmologie*, X, 1, p. 1-60), dont le bon à tirer était déjà donné au milieu de mars 1864 ; l'horoptère y est représenté comme l'intersection de deux surfaces du second degré, et j'y parle de l'influence de l'aberration des méridiens verticaux apparents. Sans avoir connaissance de ce travail, M. E. HERING a envoyé à l'impression, en juin 1864, son

encore un travail de H. HANKEL (1) qui donne une étude analytique détaillée de ce problème, mais sans tenir compte de l'aberration des méridiens verticaux apparents, qui exerce ici une si grande influence.

Depuis la découverte du stéréoscope par WHEATSONE, l'attention des observateurs s'est portée principalement sur la fusion des images doubles, parce que c'est à cette fusion que se rattachent particulièrement les questions théoriques sur le mode d'action commune des deux yeux. Nous ne pouvons parler de ces questions théoriques qu'à la fin du paragraphe suivant. BRÜCKE (2), le premier, fit voir la grande influence que le mouvement des yeux exerce sur la fusion des images disparates d'objets solides et des dessins stéréoscopiques ; mais DOVE démontra (3), à l'aide de l'éclairage électrique, qu'une semblable fusion peut également avoir lieu (quoique à un degré bien plus faible), même en l'absence de tout mouvement des yeux. Ces expériences de DOVE furent répétées et confirmées, avec des méthodes différentes, par VOLKMANN (4), AUGUST (5) et RECKLINGHAUSEN (6). Quant aux limites et aux conditions de la fusion, c'est surtout dans les travaux de PANUM (7) et de VOLKMANN (8) qu'on trouve un grand nombre d'observations et de mensurations faites avec beaucoup de soin. L'expérience, si souvent attaquée, de WHEATSTONE, d'après laquelle les impressions des points identiques peuvent servir à combler différentes parties de l'image des objets solides que nous percevons, a été confirmée, d'une part, par NAGEL (9) et par WUNDT (10) ; d'autre part, VOLKMANN (11), E. HERING (12) et W. BEZOLD (13), ont insisté sur ce qu'il est toujours possible de dissocier les images, dès qu'on regarde avec assez d'attention et qu'on emploie des moyens convenables pour rendre les images doubles plus facilement visibles. J'ai expliqué plus haut que les deux choses ne sont pas contradictoires.

---

113. GALENUS, De usu partium, lib. X, c. 12.
1593. PORTA, De refractione, p. 142.
1611. KEPPLER, Dioptrice, propos. LXII.

4e fascicule, qui contient également la réduction à l'intersection de deux surfaces du second degré, fondée sur la géométrie de STEINER, qui est très-appropriée à cet objet. La critique qui y est dirigée contre mon premier travail repose essentiellement sur cette méprise que, tandis que j'avais parlé de l'*horoptère*, M. E. HERING parlait de la *courbe horoptérique* : ces deux choses ne sont pas absolument identiques, ainsi que je l'ai fait voir in *Pogg. Ann.*, CXXIII, 158-161 (voy. plus haut, page 902). Enfin, le 5e fascicule de M. HERING contient encore une critique de mon second travail ; je n'en mentionnerai qu'un point (p. 350) où M. HERING a effectivement raison : à la page 44 de mon travail, l'angle γ est posé comme généralement égal à γ_1. C'est là un lapsus qui m'est échappé dans la hâte causée par un départ prochain, en mettant la dernière main à mon travail pour tâcher d'y condenser le plus possible la partie mathématique. J'avais d'abord examiné séparément les deux cas où cette hypothèse est exacte, et l'erreur n'a, par conséquent, aucune influence sur l'exactitude des résultats. Les autres critiques de M. HERING n'ont, en partie, qu'un intérêt personnel, et les lecteurs qui pourraient s'y intéresser sauront facilement en faire la part, sans plus d'explications ; d'autres points de divergence ne pourront être tranchés qu'à l'aide d'observations fréquemment répétées par des individus différents. J'ai indiqué, dans le cours de l'exposition précédente, les observations que j'ai pu faire à ce sujet.

(1) *Poggendorff's Annalen*, CXXII, 575-588.
(2) *Müller's Archiv für Anat. und Physiol.*, 1841, p. 459.
(3) *Monatsber. d. Berl. Akad.*, 1841, 29 Juli.
(4) *Leipz. Berichte*, 1859, p. 90-98.
(5) *Pogg. Ann.*, CX, 582-593.
(6) *Pogg. Ann.*, CXIV, 170-173.
(7) Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel, 1858. — *Reichert und du Bois-Reymond Archiv*, 1861, p. 63-227.
(8) *Archiv für Ophthalmologie*, II, 2, 1-100. — Physiol. Untersuchungen im Gebiete der Optik, Heft II.
(9) Das Sehen mit zwei Augen. Leipzig und Heidelberg, 1861.
(10) *Henle und Pfeufer's Zeitschr. für ration. Medicin*, 3, XII, 249.
(11) *Archiv für Ophthalmol.*, II, 2, p. 72-86.
(12) Beiträge zur Physiologie, Heft II, p. 81-131.
(13) *Sitzungsber. d. Bayrischen Akad. der Wissensch., Math. Phys. Klasse*, 10 Dec. 1864.

1613. Aguilonius, Opticorum libri VI. Antwerp.
1658. Gassendi, Opera, vol. II, p. 395.
1669. Tacquet, Opera mathematica.
1671. Rohault, Traité de physique. Paris, 1671 et 1682, part. I, chap. 31.
1704. Is. Newton, Optice, quæstio xxv.
1743. Du Tour, in *Act. Paris.*, 1743, p. 334.
1759. Porterfield, On the eye, II, 285.
1760. Du Tour, Pourquoi un objet sur lequel nous fixons les yeux paraît-il unique? in *Mém. des savants étrang.*, III, 514; IV, 499; V, 677.
1818. G. U. A. Vieth, Ueber die Richtung der Augen, in *Gilbert's Ann.*, LVIII, 233.
1824. W. H. Wollaston, On the semi-decussation of the optic nerves, in *Phil. Transact.*, 1824, I, 222. — *Edinb. Phil. Journ.*, XXII, 420. — *Annals of Philos.*, 1824, April, p. 306.
1826. Joh. Müller, Beiträge zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinns. Leipzig.
1827. Tourtual, Die Sinne des Menschen, p. 234.
1838. Ch. Wheatstone, On some remarkable and hitherto unobserved phenomena of binocular vision, in *Philos. Transact.*, 1838, part. II, p. 384-385.
1840. Joh. Müller, Handbuch der Physiologie des Menschen. Coblenz, II, 376-387.
1841. E. Brücke, Ueber die stereoskopischen Erscheinungen, in *J. Müller's Archiv für Anat. und Physiol.*, 1841, p. 459.
— Dove, in *Berl. Monatsb.*, 1841, 29 Juli.
1843. A. P. Prévost, Essai sur la théorie de la vision binoculaire. Genève. — *Poggendorff's Ann.*, 1844, LXII, 548.
1844. D. Brewster, Law of visible position in single and binocular vision, in *Edinb. Phil. Trans.*, XV.
1849. Locke, On single and double vision, in *Phil. Mag.*, XXXIV, 195.—*Silliman's Amer. Journ.*, VII, 68.
— Lathrop, Results additional to those offered by Dr. Locke, in *Silliman's Journ.*, VII, 343.
1852. A. Müller, Ueber das Beschauen der Landschaften mit normaler und abgeänderter Augenstellung, in *Pogg. Ann.*, LXXXVI, 147-152. — *Cosmos*, I, 336.
— D. Brewster, Sur la vision binoculaire et le stéréoscope, in *North-British Review*, 1855, May. — *Cosmos*, I, 422-425; 450-453.
1854. A. v. Graefe, Ueber Doppeltsehen nach Schieloperationen und Incongruenz der Netzhäute, in *Archiv für Ophthalmol.*, I, 1, p. 82-120.
— F. Burckhardt, Ueber Binocularsehen, in *Verhand. der naturf. Ges. in Basel*, I, 123-154.
— Meissner, Physiologie des Sehorgans. Leipzig, 1854.
1855. H. Emsmann, Ueber Doppeltsehen, in *Pogg. Ann.*, XCVI, 588-602.
— W. B. Rogers, Observations on binocular vision, in *Silliman's Journ.*, 2, XX, 86-98; 204-220; 318-335; XXI, 80-95; 173-189; 439. — *Cosmos*, VIII, 229-230. — *Arch. des sc. phys.* XXX, 247-249. — *Edinb. Journ.*, 2, III, 210-217.
— A. v. Graefe, Nachträgliche Bemerkungen über Incongruenz der Netzhäute, in *Arch. für Ophth.*, I, 2, p. 294-299.
1856. D. Brewster, on Mr. Roger's Theory of binocular vision, in *Proc. of Edinb. Soc.*, III, 356-358.
1857. Giraud-Teulon, Note sur le mécanisme de la production du relief dans la vision binoculaire, in *Compt. rend.*, XLV, 566-569.—*Inst.* 1857, p. 345-346. — *Cosmos*, XI, 459-461; 490-492; 495-495.
— D. Brewster, The Stereoscope. London.
1858. E. Claparède, Quelques mots sur la vision binoculaire et sur la question de l'horoptère, in *Arch. d. sc. phys.*, 2, III, 138-168; III, 225-267; III, 362-368.
— P. L. Panum, Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen, Kiel.
1859. A. P. Prévost, Note sur la vision binoculaire, in *Arch. d. sc. phys.*, 2, IV, 105-111.
— E. Claparède, Remarques sur la note précédente, *Ibid.*, p. 112.
— J. v. Hasner, Ueber das Binocularsehen, in *Prager Ber.*, 1829, p. 10. — *Abhandl. der Kgl. Böhmischen Ges.*, 5, X, 25-34.
— A. W. Volkmann, Das Tachistoskop, ein Instrument, welches bei Untersuchung des momentanen Sehens den Gebrauch des elektrichen Funkens ersetzt, in *Leipz. Ber.*, 1859, p. 90-98.

1859. A. W. Volkmann, Die stereoskopischen Erscheinungen in ihrer Beziehung zu der Lehre von den identischen Netzhautstellen, in *Archiv für Ophthalm.*, V, 2, p. 1-100.

— A. Graefe, Beitrag zu der Lehre über den Einfluss der Erregung nicht identischer Netzhautpunkte auf die Stellung der Sehaxen, in *Arch. für Ophthalmol.*, V, 1, 128-132.

— F. v. Recklinghausen, Netzhautfunctionen, in *Archiv für Ophthalm.*, V, 2, p. 127-179. — *Pogg. Ann.*, CX, 65-92.

1860. F. August, Ueber eine neue Art stereoskopischer Erscheinungen, in *Pogg. Ann.*, CX, 582-593. — *Phil. Mag.*, 4, XX, 329-336. — *Ann. de chim.*, 3, LX, 506-509.

— W. Rogers, Some experiments and inferences in regard to binocular vision, in *Edinb. Journ.*, 2, XII, 285-287. — *Silliman's Journ.*, 2, XXX, 387-390 ; 404-409. — *Rep. of Brit. Assoc.*, 1860, 2, p. 17-18.

— H. W. Dove, Ueber Stereoskopie (en réponse aux doutes de Recklinghausen, relativement à l'éclairage électrique des images stéréoscopiques), in *Pogg. Ann.*, CX, 494-498.

— Giraud-Teulon. De l'unité de jugement ou de sensation dans l'acte de la vision binoculaire, in *Compt. rend.*, LI, 17-20. — *Cosmos*, XVII, 24-27. — *Inst.*, 1860, p. 217.

— T. Hayden. Sulla funzione della macchia gialla del Sömmering nel produrre l'unità della percezione visuale nella visione bioculare, in *Cimento*, XI, 255-257.

1861. A. Nagel, Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen, Leipzig und Heidelberg, 1861, p. 1-184. — *Verhandl. d. naturh. Vereins d. Rheinl.*, XVII, Sitzungsber., p. 9-12.

— Giraud-Teulon, Physiologie et pathologie de la vision binoculaire. Paris, 1861.

— F. v. Recklinghausen, Zum körperlichen Sehen, in *Pogg. Ann.*, CXIV, 170-173 (relativement à l'action de l'éclairage instantané).

— W. Wundt, Ueber das Sehen mit zwei Augen, in *Henle und Pfeufer's Zeitschr.*, 3, XII, 145-262.

— P. L. Panum, Ueber die einheitliche Verschmelzung verschiedenartiger Netzhauteindrücke beim Sehen mit zwei Augen, in *Reichert's Arch. für Anat. und Physiol.*, 1861, p. 63-111; 178-227.

— F. Burckhardt, Die Empfindlichkeit des Augenpaars für Doppelbilder, in *Pogg. Ann.*, CXII, 596-606. — *Verhdl. der naturh. Ges. in Basel*, III, 33-44.

— O. N. Rood, On the relation between our perception of distance and colour, in *Silliman's Journ.*, XXXII, 184-185.

1862. Bahr. Ueber die Nichtexistenz identischer Netzhautstellen, in *Arch. für Ophthalm.*, VIII, 2, p. 179-184.

— A. Nagel, Ueber die ungleiche Entfernung von Doppelbildern, welche in verschiedener Höhe gesehen werden, in *Archiv für Ophthalmol.*, VIII, 2, 368-387.

— E. Hering, Beiträge zur Physiologie, 2. bis 5. Heft. Leipzig, 1862-1864.

1863. L. Hermann, Notiz über die Gestalt der Horopterfläche bei convergenten Secundärstellungen, in *Centralbl. für medicinische Wissenschaften*, 1863, n° 51.

— J. Towne, The Stereoscope and stereoscopic results, in *Guy's hospital Rep.*, 1862-1865.

— F. C. Donders, Die Refractionsanomalien des Auges und ihre Folgen, in *Archiv für die holländischen Beiträge*, III, p. 358. — *Pogg. Ann.*, CXX, p. 452.

— A. W. Volkmann, Ueber identische Netzhautstellen, in *Berliner Monatsber.*, 1863. August. (aberration des méridiens verticaux apparents).

— H. Helmoltz, Ueber die normalen Bewegungen des menschlichen Auges, in *Archiv für Ophthalm.*, IX, 2, p. 188-190. (La même aberration est décrite dans ce mémoire.)

— E. Hering, über W. Wundt's Theorie des binocularen Sehens, in *Pogg. Ann.*, CXIX, 115; CXXII, 476.

— W. Wundt, über Dr. Hering's Kritik meiner Theorie des Binocularschens, in *Pogg. Ann.*, CXX, 172.

— A. W. Volkmann, Vorläufige Mittheilung über den Horopter und die Axendrehung des Auges, in *Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften*, 1863, n° 51.

1864. E. Hering, Das Gesetz der identischen Sehrichtungen, in *Reichert und du Bois-Reymond's Archiv*, 1864, p. 27.

1864. E. HERING, Bemerkungen zu VOLKMANN's neuen Untersuchungen über das Binocularsehen, in *Reichert und du Bois-Reymond's Archiv*, 1864, p. 303.
— W. v. BEZOLD, Zur Lehre vom binocularen Sehen, in *Sitzungsber. der Königl. Bayrischen Akad., Math. Phys. Kl.*, 10 Dec. 1864.
— H. HELMHOLTZ, Ueber den Horopter, in *Archiv für Ophthalmologie*, X, 1-60.
— H. HELMHOLTZ, Bemerkungen über die Form des Horopters, in *Pogg. Ann.*, CXXIII, 158-161.
— E. JAVAL, De la neutralisation dans l'acte de la vision, in *Ann. d'ocul.*, LIV, 5-16.
— E. JAVAL, Ueber Incongruenz der Netzhäute, in *Klin. monatsbl. f. Augenheilk.*, 1864, p. 437-441. — *Ann. d'ocul.*, 1865, 123-125.
1865. D. BREWSTER, On Hemiopia, in *Phil. Mag.*, 4, XXIX, 506-507.
— H. AUBERT, Physiologie der Netzaut. Breslau, p. 280-331.
— E. HERING, in *Reichert und du Bois-Reymond's Archiv,* 1865.
— A. GRAEFE, Ueber einige Verhältnisse des Binocularsehens bei Schielenden mit Beziehung auf die Lehre von der Identität der Netzhäute, in *Archiv. für Ophthalmol.,* XI, 2, p. 1-46.
— A. NAGEL, Zur Symptomatologie des Schielens, in *Klin. monatsbl. f. Augenheilk.*, III, 63-70.
1866. F. C. DONDERS, La vision binoculaire et la perception de la 3e dimension (extrait des *Archives Néerlandaises*, 1866, I).
1867. SCHWEIGGER, Beiträge zur Lehre vom Schielen, in *Klin. monatsbl. f. Augenheilk.*, V, 1-31.
— A. v. GRAEFE, Symptomenlehre der Augenmuskellähmungen. Berlin, p. 60-78. (Die Identitätslehre, in Sonderheit mit Rücksicht auf paralytische Diplopie.)

§ 32. — Antagonisme des champs visuels.

Nous avons vu, dans les deux paragraphes précédents, que dans la vision binoculaire naturelle, nous projetons devant nous, dans l'espace, des images des objets solides ; mais que, d'un autre côté, lorsque nous portons notre attention sur le champ de vision commun à nos deux yeux, nous pouvons voir, comme superposées l'une à l'autre à la surface de ce champ, les deux projections perspectives différentes que les objets produisent sur nos rétines. C'est le premier de ces deux modes de vision qui se présente de préférence lorsque nous regardons des objets solides, et que, par suite, notre attention est concentrée sur ces objets. Nous dirigeons toujours alors les lignes visuelles des deux yeux sur l'objet qui attire notre attention, et par conséquent nous le voyons toujours simple et net, sans nous préoccuper des objets plus rapprochés et plus éloignés, qui pourraient paraître doubles à la vision plus ou moins indirecte. Pour voir des images doubles, il faut au contraire considérer nos impressions visuelles en elles-mêmes et chercher à faire abstraction des objets que nous percevons. Le moyen le plus commode pour voir les images doubles et les phénomènes correspondants de congruence et d'incongruence des différents points des deux champs visuels, c'est de regarder, non pas les objets réels, mais deux dessins différents qui présentent des lignes et des champs différemment colorés ou éclairés, et analogues à ceux que nous avons employés pour trouver les parties correspondantes des champs visuels.

Dans les cas que nous avons vus jusqu'ici, les images doubles étaient plus ou moins semblables aux images que pourrait offrir un seul et même objet extérieur, et, pour cette raison, elles étaient pour nous les signes familiers et facilement reconnaissables d'un objet situé hors de l'horoptère, de sorte qu'elles pouvaient encore nous servir à apprécier à peu près exactement la distance de l'objet.

Nous avons encore à examiner les cas où les deux champs visuels sont remplis de formes tout à fait différentes, qui ne peuvent pas être combinées pour former l'image d'un objet unique. — Dans les cas de ce genre, on voit en général deux images simultanées qui se superposent dans le champ de la vision. Mais ordinairement l'une ou l'autre de ces images prédomine plus ou moins dans telle ou telle partie du champ ; quelquefois il se produit une alternance telle qu'aux endroits où, pendant un certain temps, on ne voyait que des parties de l'une des images, on voit celle-ci s'effacer pour faire place à des parties de l'autre. La dénomination d'*antagonisme* ou de *lutte des champs visuels* nous servira à désigner cette alternance dont l'effet est de faire apparaître des parties des deux images tantôt simultanément, tantôt successivement au même endroit.

Les cas les plus simples et les plus réguliers sont ceux où l'un des champs visuels présente une coloration ou un éclairage uniformes dans toute son étendue ; on ne remarque alors que les objets contenus dans l'autre champ. — Ainsi, lorsque après avoir fermé un œil, on regarde une page d'impression, on voit les caractères et le papier blanc sans remarquer l'obscurité du champ visuel de l'œil fermé. Il faut observer que le papier ne paraît pas sensiblement plus foncé que lorsqu'on le regarde avec les deux yeux. Le noir de l'un des champs ne se mêle donc pas au blanc de l'autre ; il n'a aucune influence sur l'apparition de l'autre image.

Il en est de même lorsque, ayant ouvert l'œil qui était fermé, on tient tout près de lui une feuille de papier blanc, de manière que son champ visuel, qui était obscur auparavant, soit uniformément éclairé en blanc. Dans ce cas également, on voit sans modification les caractères contenus dans l'autre champ, et si le papier blanc uniforme n'est pas plus clair que l'autre, ce dernier ne paraît pas plus clair lorsque l'autre champ visuel est uniformément blanc que lorsqu'il est uniformément noir. Mais si l'on se tourne de telle façon que le papier blanc uniforme soit vivement éclairé par le soleil, dès qu'on ouvre le second œil, on croit assurément voir le papier imprimé devenir plus clair que précédemment.

Il en est encore de même lorsqu'une grande partie seulement de l'un

des champs visuels est uniformément éclairée tandis que la partie correspondante de l'autre contient des dessins. Si l'on contemple, par exemple, les lettres

AB BC

en plaçant les yeux de telle façon que les deux *B* se superposent en un seul, on voit la disposition

ABC

et, dans cette image, *A* et *C* ne sont pas sensiblement plus foncés que la lettre *B* vue binoculairement. Ainsi, dans ce cas, on ne voit à gauche de *B* que la partie du champ visuel gauche qui contient *A* ; de même, à droite de *B*, on voit le *C* du champ visuel droit, tandis que le fond blanc uniforme de l'autre champ ne s'y fait pas du tout remarquer.

S'il y a, dans les deux champs visuels, de larges figures noires et blanches dont les limites se coupent dans le champ visuel commun, cette règle est satisfaite, en général, que chaque champ visuel prédo-

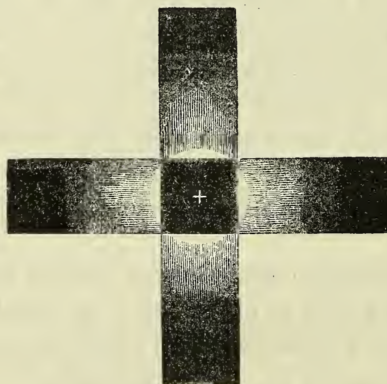


Fig. 210.

mine le long et à côté des contours qui appartiennent à ce champ. Si l'on amène donc les deux bandes noires de la figure *V* (pl. XI), à se superposer de telle façon que les points blancs marqués au milieu de ces bandes coïncident, il en résulte une image analogue à celle de la figure 210. Les bandes présentent l'aspect d'une croix dont le milieu est tout à fait noir, parce qu'il est formé par la superposition de deux parties noires.

Le fond paraît blanc parce que le blanc y tombe sur du blanc. Dans les quatre branches de la croix, le blanc de l'un des champs coïncide avec le noir de l'autre ; mais ce mélange de noir et de blanc ne leur communique point un aspect uniforme. Loin de là, elles sont presque entièrement noires à leurs extrémités, où elles touchent le fond blanc, et presque entièrement blanches aux points où elles touchent le carré noir du milieu; les parties intermédiaires offrent des transitions du noir au blanc qui ne présentent pas un aspect invariable et tranquille, ce qui empêche de donner une idée du phénomène par un dessin. L'extrémité de chaque bande coïncide avec une partie du fond uniformément blanc de l'autre champ visuel, et elle l'efface alors à fond de manière à donner à peu près l'aspect du noir pur. Mais chaque bande est traversée, près de son milieu, par les lignes qui limitent l'autre dans le champ de l'autre œil, et, par ce motif, le blanc de l'autre champ visuel ressort nettement sur le noir de la première bande, le long du contour de la seconde.

Dans les cas examinés jusqu'ici, nous avions toujours en présence une figure à contours déterminés et un champ uniforme complétement vide. On a vu que, dans ces conditions, les contours apparaissaient toujours et chassaient l'impression du champ vide. — Remplaçons maintenant le champ complétement vide par un autre qui contienne un dessin linéaire fin, uniformément répété; regardons, par exemple, avec l'œil gauche, la croix noire de la figure *W* (pl. XI), et dirigeons, en même temps, l'œil droit sur le champ quadrillé; au premier moment la croix prédomine, en général, comme si on la projetait sur un fond uniforme, et le quadrillage apparaît tout au plus au milieu de la croix et dans les parties périphériques de la figure. Si nous prolongeons quelque temps l'expérience sans donner à notre attention une direction déterminée, le quadrillage apparaît par moments sur tout le champ et recouvre toute la croix ou au moins quelques-unes de ses parties. Je dois faire observer ici qu'il m'est possible, quand je veux, de diriger volontairement et exclusivement mon attention sur une partie quelconque du quadrillage, même sur celles qui tombent précisément sur le bord de la croix, de sorte que je ne vois alors que le quadrillage, tandis que la croix disparaît plus ou moins complétement. Il me suffit, à cet effet, de compter les carrés qui forment l'une des files du dessin, ou d'examiner attentivement ces carrés, comme pour voir s'ils sont égaux, s'ils sont rectangulaires, et ainsi de suite. Pendant et aussi longtemps que je fixe, de cette manière, mon attention sur les carrés, ils restent visibles. Mais dès que je regarde, de la même manière, un coin ou un côté de la croix,

le quadrillage disparaît plus ou moins complétement, et je vois la croix d'une manière permanente.

La lutte devient encore plus remarquable lorsque les figures superposées présentent des contours qui ressortent avec la même intensité. — Si l'on amène, par exemple, les deux couples de lignes de la figure 211 à se superposer, la plupart des observateurs ne voient d'abord,

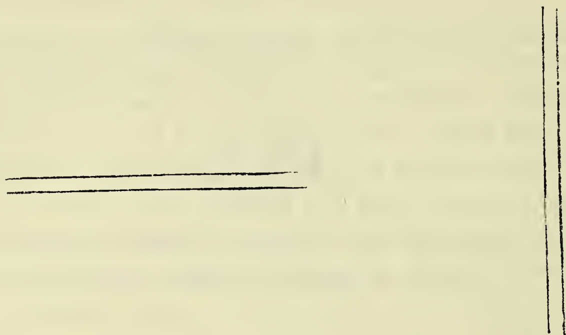


Fig. 211.

au point d'intersection, que les lignes verticales, les lignes horizontales disparaissant dans l'intervalle des verticales, ou même au delà. Lorsqu'on fixe longtemps, elles reparaissent de temps à autre aux dépens des verticales, et inversement. Mais ici encore, je puis conserver à volonté l'image de l'un ou de l'autre couple, lorsque j'y applique mon attention et que je cherche, par exemple, à voir s'il y a des irrégularités sur l'un ou sur l'autre couple de lignes.

Le même antagonisme se présente, d'une manière plus compliquée, pour les champs de la figure *X* (pl. XI) qui sont recouverts de parallèles dirigées en sens contraire. — On ne voit pas se produire, dans l'image totale, la combinaison régulière des lignes, qui formerait un dessin analogue à celui de la figure *W* de la même planche : on voit apparaître le plus souvent un mélange irrégulier des deux dessins, qui prédominent chacun sur des parties différentes du champ, la position de ces parties étant elle-même sujette à des alternatives continuelles. Les carrés noirs marqués au milieu des champs sont destinés à servir de points de fixation lorsque l'observateur désire maintenir les deux champs dans une position invariable l'un par rapport à l'autre, immobilité qu'il est impossible d'obtenir sans le secours de parties correspondantes fortement marquées sur la figure : en leur absence, les lignes de regard oscillent d'une manière continue entre différents degrés de convergence.

Parfois l'un des systèmes paraît occuper seul, pendant un certain

temps, toute l'étendue de la surface. Je trouve, ici encore, qu'il dépend absolument de moi de porter mon attention tantôt sur l'un, tantôt sur l'autre système de lignes ; ce système de lignes apparaît alors seul pendant un certain temps, l'autre disparaissant complétement. C'est ce qui arrive, par exemple, lorsque j'essaye de compter successivement les lignes des deux systèmes. Je trouve, de plus, que cette observation de l'un des deux systèmes ne dépend pas de mouvements déterminés de l'œil ; car je puis, à volonté, laisser errer le regard le long des lignes que je regarde et que je vois, ou bien le promener perpendiculairement à leur direction, et, par conséquent, parallèlement à celle des lignes de l'autre système, de sorte que je passe alors d'une ligne à l'autre sans cesser de voir exclusivement le système que je veux. Mais je trouve néanmoins, d'accord avec Wundt, qu'il est plus facile de maintenir l'image des lignes dont on suit la direction avec le regard ; c'est en effet de cette manière que nous portons habituellement notre attention sur les lignes ; en les longeant du regard, nous sommes plus certains d'attacher notre attention aux lignes que nous voulons.

Mais il est assurément difficile de fixer longtemps l'attention sur l'un des systèmes de lignes de la figure *W*, sans être soutenu par un but déterminé et qui exige une activité constante de l'attention, comme de compter les lignes, de comparer leurs intervalles, et ainsi de suite. En effet, en général, il n'est guère possible de conserver pendant quelque temps une certaine fixité de l'attention. L'état naturel de notre attention est de passer continuellement à de nouveaux objets, et dès que l'intérêt d'un objet est épuisé, dès que nous ne savons plus rien y remarquer de nouveau, l'attention échappe malgré nous pour se porter ailleurs. Pour parvenir à la fixer sur un objet, il nous faut chercher à y découvrir constamment du nouveau, surtout lorsque d'autres sensations vives appellent notre attention ailleurs. C'est, à ce qu'il me semble, par cette particularité de notre activité psychique que s'expliquent les faits décrits plus haut.

Les expériences qu'on vient de voir peuvent être variées de différentes manières. — Ainsi, lorsqu'on fait coïncider le quadrillage de la figure *W* (pl. XI), avec une feuille de papier imprimé, il est facile, à volonté, de lire les lettres ou d'examiner le dessin. Il en est de même lorsqu'on fait coïncider une feuille de papier imprimée avec une carte géographique finement gravée, une photographie avec une feuille d'impression ; seulement les dessins d'un côté ne doivent pas être trop éclairés par rapport à ceux de l'autre, ni présenter des analogies trop grandes. C'est ainsi que, lorsqu'on combine deux pages différentes imprimées de la même manière, on ne peut s'empêcher de fusionner

binoculairement des mots d'une page avec des mots de l'autre, de sorte qu'on amène facilement une confusion entre les lettres des deux côtés.

Je veux encore insister sur la facilité avec laquelle je puis voir et observer d'une manière continue des objets finement et délicatement dessinés dans l'un des champs visuels, même lorsqu'ils coïncident avec des dessins fortement accentués de l'autre champ. — C'est ainsi que je puis suivre les fibres et les petites taches d'une feuille de papier blanc, alors même que l'autre champ présente des lignes noires très-prononcées. Je puis encore lire une impression recouverte d'une mince feuille de papier blanc, ce qui la rend à peine reconnaissable, même lorsqu'elle se superpose binoculairement avec les carrés ou avec la croix de la figure *W* (pl. XI) ; ou bien, tenant un miroir devant un œil, je puis faire coïncider, à la vision binoculaire, l'image brillante de la fenêtre avec celle d'une feuille d'impression relativement peu éclairée, sans cesser un instant de pouvoir lire les caractères. Il est évident que je puis tout aussi bien regarder l'image réfléchie de la fenêtre, et que c'est l'imprimé qui disparaît. Si dans les expériences de ce genre, on ne peut pas toujours distinguer les objets faiblement lumineux de l'un des champs lorsque l'autre œil est dirigé sur un champ très-clair, c'est ce qui s'explique en remarquant que, sous l'influence de la lumière intense, les pupilles des deux yeux se contractent et l'image rétinienne du champ le plus obscur devient, en réalité, bien plus sombre encore qu'elle ne l'est lorsqu'on cache l'image claire.

Il résulte des expériences décrites ci-dessus, que l'homme possède la faculté de percevoir séparément les images de chaque champ visuel, sans être gêné par celles de l'autre, pourvu qu'à l'aide d'un des artifices indiqués il réussisse à fixer complétement son attention sur les objets du champ qu'il veut voir. Ce fait est important, parce qu'il en résulte que le *contenu de chaque champ visuel arrive à notre conscience sans être lié par une disposition organique à celui de l'autre, et que, par conséquent, la fusion des deux champs visuels en une image commune, en tant qu'elle se produit, est un acte psychique.*

Pour bien faire ressortir la différence, il suffit de comparer le résultat de la fusion binoculaire des deux systèmes de lignes obliques et différemment dirigées de la figure *X* (pl. XI) avec leur combinaison représentée par le système de la figure *W*. — Dans cette dernière, nous avons beau compter les lignes d'un système ou comparer leurs intervalles, les lignes de l'autre système ne disparaissent jamais de l'image, ainsi que cela a lieu, en général alors, dans la combinaison binoculaire. Dans l'examen monoculaire du système combiné de la figure *W*, nous n'avons qu'une impression sensuelle toujours la même et que nous ne

pouvons modifier par aucun effort d'attention, quelles que soient les parties que nous observons de préférence. Si les deux images correspondantes de la figure *X* se confondaient réellement en une impression unique et simple, aucun effort d'attention ne serait susceptible de décomposer cette impression dans ses parties constituantes. Un autre fait caractéristique, c'est qu'en faisant coïncider dans le champ monoculaire, à l'aide d'une lame de verre non étamée, l'image lumineuse du ciel avec une page de livre, il est certains degrés d'éclairage pour lesquels la lecture devient impossible, tandis qu'elle est facile en présence d'une image bien plus lumineuse du ciel, lorsqu'on se sert d'une lame de verre étamée pour envoyer cette image à l'autre œil.

L'antagonisme des champs visuels, tel que nous l'avons vu se manifester lors de la fusion binoculaire d'images différentes, répond à l'état d'oscillation de l'attention qui, lorsqu'elle n'est pas fixée par notre volonté ou par les objets, passe d'une impression à l'autre de manière à nous donner graduellement une vue d'ensemble des objets qui se trouvent devant nous. Que ces altérations ne reposent sur aucune disposition organique du système nerveux, — ainsi que le croient Panum et E. Hering, — ou du moins sur aucune disposition de ce système autre que celle qui sert de base à nos actes psychiques ; c'est ce qui me semble ressortir d'une manière évidente de l'observation d'après laquelle nous sommes maîtres d'arrêter instantanément ces oscillations par des moyens connus et purement psychiques de fixation de l'attention, et cela sans qu'il se produise aucun changement appréciable quelconque dans les circonstances extérieures, telles que la position ou le mouvement des yeux. Panum a raison de dire qu'il ne suffit pas de vouloir diriger l'attention sur l'image qui va disparaître ou qui a disparu, car il considère l'attention comme une activité soumise, d'une manière absolue, à la volonté consciente de l'observateur. Mais c'est précisément là ce qui n'est vrai que jusqu'à un certain point. Les mouvements de nos yeux sont soumis à notre volonté ; à moins de s'y être exercé, il n'en est pas moins impossible de les faire converger sans sollicitation extérieure ; il est seulement possible, à chaque instant, de regarder volontairement un objet rapproché, ce qui entraîne la convergence. Il ne nous est pas possible davantage, dès que l'objet cesse de nous présenter de l'intérêt, de maintenir volontairement notre attention fixée sur un objet déterminé, si nous nous bornons à en exprimer intérieurement l'intention sous cette forme ; mais nous pouvons nous poser de nouvelles questions relativement à l'objet, de manière à lui donner un nouvel intérêt, et alors l'attention reste fixée. Les choses se passent donc comme dans l'exemple précité : la volonté n'est dirigée par nous que d'une manière médiate

et non immédiate. Nous pouvons employer notre volonté pour exécuter des actes qui donnent à l'œil ou à l'attention la direction que nous voulons, mais nous ne sommes pas capables de commander la direction de l'œil ou de l'attention par un acte volontaire qui se propose ce but directement et sans intermédiaire. D'un autre côté, contrairement à ce que dit Panum, l'attention présente encore cette autre propriété caractéristique, dans les phénomènes d'antagonisme des champs visuels, de pouvoir, à l'aide de méthodes expérimentales appropriées, être attirée par les sensations les plus faibles, alors même que les sensations les plus fortes de l'autre champ visuel cherchent à la détourner. Il est évident qu'il faut alors un effort d'autant plus grand, que le rapport d'intensité est plus en défaveur dans les sensations sur lesquelles on veut porter l'attention.

Comme, ainsi que le prouvent les expériences d'éclairage instantané déjà décrites, nous sommes à même d'observer simultanément un certain nombre d'objets et de remplir ainsi une certaine partie du champ visuel, on peut s'attendre, en général, à voir le champ de la vision se remplir d'abord des objets qui exercent la plus forte impression, ou, lorsque les excitations sont égales dans les deux champs visuels, à voir se produire, soit une oscillation, soit la recherche d'une impression cohérente et intelligible, ce qui n'entraîne pas toujours nécessairement la prédominance de la sensation du même œil dans tout le champ visuel. Cette recherche d'une impression intelligible se manifeste d'une manière caractéristique par l'oscillation continuelle des lignes de regard ; il est à peine possible de maintenir les deux images dans une coïncidence permanente et toujours la même.

Les choses se passent d'une manière un peu différente lorsqu'il est possible d'interpréter les deux images comme signes sensuels d'un objet réel : l'attention se porte alors immédiatement sur la perception de cet objet, sans être attirée par la différence des deux images rétiniennes.

En ce qui concerne l'influence remarquable qu'exercent les contours sur l'antagonisme des champs visuels, je crois qu'elle repose essentiellement sur une habitude psychique. — En effet, si nous examinons la manière dont notre œil doit parcourir le champ de vision pour en obtenir une connaissance parfaite, il est évident qu'il serait inutile de chercher à le diriger successivement vers tous les points des surfaces étendues et uniformément éclairées ; nous n'y apprendrions rien de plus. Il suffit, au contraire, de promener le regard sur les limites des surfaces et de le diriger successivement vers tous les points qui se distinguent sur ces surfaces. Lorsque nous avons regardé de cette manière, nous avons une connaissance des surfaces aussi exacte que l'œil puisse la donner. Aussi

est-ce principalement sur les contours qui apparaissent à la vision indirecte, que nous avons à diriger successivement notre attention et notre regard, lorsque nous parcourons le champ de la vision. On sait combien il est difficile de découvrir, sur une grande surface éclairée, un petit objet qui échappe à la vision indirecte; c'est ainsi que, suivant l'heureuse expression de Göthe, l'alouette est « perdue dans le bleu de l'espace ». Inversement, les objets un peu grands et assez fortement dessinés dans la vision indirecte attirent immédiatement nos regards, et si l'on s'observe pendant qu'on examine un objet encore inconnu, on remarque facilement que le regard en suit les contours. Ainsi, l'habitude et l'exercice doivent avoir nécessairement pour effet de diriger notre attention sur les contours. J'ai déjà fait remarquer l'importance particulière que les contours présentent également dans les phénomènes de contraste.

On pourrait aussi penser que l'excitation des parties rétiniennes le long d'une limite de noir et de blanc soit exaltée toutes les fois que les mouvements de l'œil font passer des éléments de la rétine du noir au blanc. Les éléments reposés seraient évidemment plus fortement excités que ceux qui ont reçu depuis longtemps l'impression du blanc. Cependant je ne crois pas que cette circonstance joue ici un rôle important, car, dans les expériences décrites plus haut, nous avons trouvé que le sens des mouvements de l'œil n'exerçait aucune influence décisive, et que, dans les images doubles, les contours exercent leur influence aussitôt que l'on ouvre les yeux, alors que l'image accidentelle ne peut pas encore être développée.

Quant à l'idée de Panum, d'après laquelle les contours jouiraient par eux-mêmes de la propriété d'exciter plus fortement la rétine, elle ne me paraît fondée sur aucun fait certain, et elle me semble absolument inutile pour l'explication des phénomènes dont il est question ici. — Nous avons vu, il est vrai, au sujet des phénomènes de contraste, que la différence d'éclairage ou de coloration de deux champs ressort plus fortement, et même d'une manière exagérée, le long d'un contour commun à deux champs. Mais si nous faisons abstraction des images accidentelles, les phénomènes du contraste simultané peuvent s'expliquer en admettant que nous sommes plus exercés et plus habiles dans la comparaison de l'éclairage de deux points rétiniens voisins qui, dans les mouvements de l'œil, reçoivent bien plus fréquemment que des points éloignés, le même éclairage l'un immédiatement après l'autre. Si une différence de ce genre nous paraît relativement trop grande et s'il en résulte des erreurs dans l'appréciation des colorations, c'est ce qui répond à la règle générale d'après laquelle nous sommes disposés à con-

sidérer les différences nettement perceptibles comme plus grandes que celles que nous ne pouvons pas percevoir nettement. On pourrait peut-être considérer une semblable différence plus nettement perceptible comme une excitation psychique plus forte, et c'est peut-être pour cette raison qu'elle attire plus fortement notre attention ; mais si l'on évite les images accidentelles, je ne vois pas de raison pour admettre là une excitation nerveuse plus intense.

Il se produit encore des phénomènes analogues d'antagonisme des champs visuels lorsqu'on fournit aux deux yeux des champs de coloration ou d'éclairage différent. — Lorsqu'on regarde les objets extérieurs à travers deux verres présentant des colorations vives et différentes, si l'on met, par exemple, un verre rouge devant l'œil droit et un verre bleu devant l'œil gauche, si les verres sont d'une intensité peu différente, les objets semblent tachetés en rouge et en bleu avec de fréquentes alternances de coloration. Le plus souvent, ces alternances singulières des couleurs présentent leur plus grande vivacité au commencement de l'expérience; bientôt la sensibilité pour les couleurs s'émousse, l'aspect devient plus tranquille, et il se répand une couleur indécise, qui se rapproche du gris, et qui présente, par moments et par endroits, des alternances entre des tons plus rougeâtres ou plus bleuâtres ; bien des observateurs croient voir apparaître alors la teinte du mélange de deux couleurs primitives, qui serait rose dans l'exemple actuel. Je dois avouer que, malgré des tentatives nombreuses et variées, je n'ai jamais pu voir la couleur résultante d'une manière quelque peu manifeste. Les particularités des objets contribuent à nous faire voir davantage l'une ou l'autre couleur. Les objets clairs paraissent plutôt rouges, les objets sombres sont plus souvent bleus; ce qui peut bien provenir de ce que dans la sensation, c'est le rouge qui prédomine sous un éclairage intense, et le bleu sous un éclairage plus faible. Les objets qui sont effectivement rouges ou bleus présentent naturellement leur couleur véritable, parce que chacun paraît plus clair à travers le verre qui est de même couleur que lui. Ici encore l'attention joue un rôle sensible suivant qu'elle se porte sur l'un ou sur l'autre champ. Bien qu'il soit très-difficile de n'accorder l'attention qu'à la couleur d'un seul champ, lorsqu'elle n'est pas appuyée par des contours appartenant à ce champ, certains observateurs (Funke (1), J. Dingle, Völkers (2), Völkmann (3),

(1) Lehrbuch der Physiologie, 1. Aufl., II, 875.
(2) *Müller's Archiv,* 1838, pp. 61, 63.
(3) Neue Beiträge zur Physiol. des Gesichts., pp. 97, 99.

E. A. Weber (1), Welcker (2) et moi-même), réussissent à fixer l'attention à volonté sur l'œil droit et sur ce qu'ils y voient, ou sur l'œil gauche; et, lors de ce changement, l'objet reçoit la coloration du verre correspondant. Fechner (3), qui réussit mal à produire cette alternance volontaire, croit devoir attribuer cette alternance à un mouvement involontaire ou à une compression de l'œil, causes qui, d'après ses expériences, seraient seulement favorables au changement de couleur, sans en déterminer précisément le sens. L'expérience réussit bien mieux encore si l'on tient les verres de telle façon qu'ils envoient à l'œil les images réfléchies d'objets faiblement éclairés et situés latéralement. Dès que l'on fixe l'attention sur une de ces images réfléchies, quelque peu apparente qu'elle soit, on voit se manifester aussitôt, dans la partie correspondante du champ visuel, la couleur du verre correspondant. Si l'on dirige alors l'attention sur une image réfléchie par l'autre verre et qui apparaisse dans la même partie du champ de vision, on voit se répandre à son tour la couleur de ce verre.

Pour faire cette expérience avec méthode, j'ai placé verticalement sur une table deux lames de verre, l'une bleue *B* et l'autre rouge *R* (fig. 212) ; *C* est un écran sombre portant, sur le côté qui fait face à *B*, une feuille imprimée ; *D* est un écran pareil dont la face interne porte des caractères qu'on ne puisse pas confondre facilement avec les lettres, comme, par exemple, un tableau numérique. En *A* se trouve un écran blanc; *O* et *O'* sont les yeux de l'observateur. On règle l'éclairage de manière que les lettres et les chiffres dont l'observateur voit les images réfléchies par les lames de verre, soient à peine lisibles lorsque la feuille *A* est fortement éclairée. Pour l'observateur, les images des lettres et des chiffres paraissent situées sur la feuille *A*. Le fond me paraît régulièrement bleu lorsque je cherche à suivre les lettres du regard, et rouge lorsque je suis les chiffres. Par conséquent, l'attention dirigée sur l'image de l'une des rétines fait apparaître, sur le fond, la couleur correspondante. Il faut encore remarquer ici que les contours qui font prédominer, dans ce cas, l'une des impressions, sont des limites

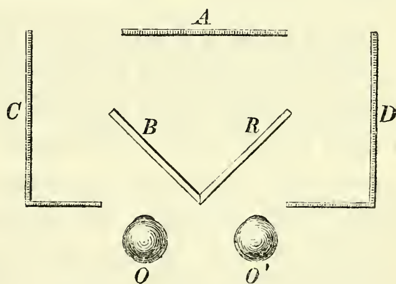


Fig. 212.

(1) *Programma Colleg.*, I, 118.
(2) Ueber Irradiation, 1852, p. 107.
(3) *Abhandlungen der Sächsischen Ges. d. Wiss.*, VII, 1860, 399-408.

entre du noir et du blanc, sans que l'intensité de la couleur du fond qui devient visible, subisse aucune modification en cet endroit. Ou bien si l'on considère en somme tout l'éclairage mélangé, les lettres paraissent bleu pur sur bleu blanchâtre, et les nombres rouge pur sur rouge blanchâtre. Dans les phénomènes de contraste, l'attention ne serait attirée que par le contraste entre le noir et le blanc, et ne se porterait pas sur le bleu ou sur le rouge ; tandis que dans les expériences binoculaires décrites ici, c'est précisément le contraire qui a lieu.

Cette expérience me réussit très-facilement et très-bien, d'une manière plus simple, lorsque je regarde le ciel en tenant devant un œil un verre rouge et devant l'autre un verre bleu ; j'incline les deux verres par rapport aux lignes visuelles, comme dans la figure 212, de façon à voir dans chacun d'eux de faibles traces d'images réfléchies d'objets situés latéralement, puis je déplace un peu tantôt l'un, tantôt l'autre verre, de manière à déplacer un peu les images qu'ils réfléchissent. Si l'on fait attention à ces images mobiles qui peuvent, du reste, être très-effacées et très-peu lumineuses, on voit aussitôt sur le ciel la couleur du verre correspondant. C'est un spectacle étrange que de voir ainsi subitement, comme au commandement, le ciel bleu devenir tout à fait rouge, ou le ciel rouge tout à fait bleu.

Quant à dire si la coïncidence binoculaire de champs différemment colorés fait voir ou non la couleur résultante, c'est un point sur lequel différents observateurs ont donné des opinions complétement opposées. Tandis que H. Meyer, Volkmann, Meissner et Funke, à la suite desquels je dois également me ranger, n'ont jamais vu la couleur résultante, Dove, Regnault, Brücke, Ludwig, Panum et Hering déclarent avec tout autant d'assurance qu'ils l'ont vue, non-seulement pour des couleurs faibles et blanchâtres, mais aussi pour des couleurs saturées. Dove dit même l'avoir vue pour les couleurs les plus saturées, celles du spectre prismatique, en examinant simultanément et binoculairement, avec une lunette à image renversée et une lunette à image droite, un spectre projeté objectivement sur le mur. Il recommande même, comme *particulièrement propre à cette expérience*, l'emploi des couleurs de polarisation. Si, devant une lame de verre noir qui réfléchit la lumière sous l'angle de polarisation, on met dans une position convenable des lamelles de mica ou de gypse, tenant devant l'œil droit un prisme de Nicol dans la position où il laisse passer au maximum la lumière réfléchie par la lame de verre, et devant l'œil gauche un prisme pareil tourné à angle droit de manière à ne pas laisser passer la lumière réfléchie, on voit les lamelles de cristal présenter des couleurs qui sont exac-

tement complémentaires pour les deux yeux. Dove et Regnault ont vu, dans des cas de ce genre, les couleurs complémentaires se mélanger binoculairement pour former du blanc. J'ai répété ces expériences avec un insuccès régulier et complet. Je vois, tant avec les couleurs spectrales qu'avec les couleurs de polarisation, la même lutte et les mêmes alternatives des différentes couleurs simples, sans remarquer davantage la couleur résultante qu'avec les matières colorantes ou les verres colorés. J'ai également trouvé très-utiles, pour ces expériences, des lames de quartz taillées perpendiculairement à l'axe du cristal. Si l'on fait tourner les prismes de Nicol devant les yeux, on voit paraître de nouvelles couleurs. Je vois toujours les deux couleurs séparément, et comme l'une à travers l'autre, et je puis toujours annoncer instantanément et sans fermer un œil, quelles sont les couleurs en présence. Dans l'expérience ainsi disposée, on a pour terme de comparaison avec les couleurs, le fond blanc clair de la lame réfléchissante, lequel affecte la couleur résultante qui devrait se présenter, et, pour cette raison, il est facile de reconnaître dans ces expériences la grande différence qui existe entre la combinaison binoculaire et la combinaison effective de deux couleurs.

Tout en convenant qu'il est très-risqué de contredire tant d'observateurs distingués et dignes de foi, au sujet d'un fait qui présente peut-être des différences individuelles considérables, j'indiquerai ici quelques circonstances qui ont parfois produit, dans mes propres expériences, l'apparence d'une couleur résultante, tandis qu'un examen plus exact démontrait ensuite que cette couleur n'existait pas, du moins pour mon œil.

Remarquons d'abord ceci : lorsqu'on a simultanément devant soi la combinaison binoculaire de deux couleurs et ces deux couleurs elles-mêmes ; lorsqu'on regarde, par exemple, avec des lignes visuelles parallèles, un champ bleu et un champ rouge juxtaposés, de manière à voir des images doubles de la ligne de séparation, — on a une coïncidence de bleu et de bleu d'un côté, de rouge et de rouge de l'autre côté, de rouge et de bleu au milieu, — le bleu du milieu se distingue du bleu pur du côté parce qu'il est mélangé, dans le champ visuel, avec plus ou moins de rouge ; un observateur qui connaît les lois du mélange des couleurs et qui est habitué à voir le bleu et le rouge se combiner pour donner du violet ou du pourpre, peut être amené à prendre pour du violet ce bleu mêlé de rouge. Nous savons que, même dans le champ monoculaire, l'observateur peut être amené à décomposer en bleu et en rouge un violet réel, soit par un effet de contraste avec le bleu, soit parce que le bleu paraît appartenir à une couverture étendue au-dessus des couleurs ou à l'éclairage général du champ. Nous avons vu des exemples

de ce genre dans le paragraphe 24. Ainsi le bleu et le rouge combinés en violet peuvent réellement paraître séparés, à la vision monoculaire, comme ils me paraissent toujours l'être lorsqu'ils coïncident à la vision binoculaire ; aussi notre observateur peut-il facilement être amené à croire que là où il voit simultanément du bleu et du rouge il y a du violet ou du pourpre. Mais si l'on fait apparaître la couleur résultante véritable des deux couleurs que l'on voit, la différence saute aux yeux. La manière la meilleure et la plus exacte de produire la couleur résultante, est la suivante. On dispose les uns à côté des autres deux champs rouges et deux champs bleus, disposés en damier, de manière, par exemple, que le champ supérieur à droite et le champ inférieur à gauche soient bleus, et les autres, rouges ; puis on met devant chaque œil un prisme de spath d'Islande biréfringent et achromatisé, dans une position telle que les deux images soient sur la même verticale. Les images doubles des champs colorés empiétant l'une sur l'autre, il se produit pour chaque œil, le long de la ligne de séparation horizontale des champs colorés, une bande composée du mélange monoculaire de rouge et de bleu, c'est-à-dire une bande rose. Qu'on regarde maintenant les champs, avec des lignes visuelles parallèles, de manière que leurs images se superposent binoculairement. En haut, le bleu du côté droit et le rouge du côté gauche se superposent ; au milieu, le rose coïncide avec le rose ; en bas, le rouge du côté droit avec le bleu du côté gauche. Dans ces conditions, il est très-net, pour mon œil, que dans la combinaison binoculaire du bleu et du rouge il n'y a aucune trace du rose tel que le présente la bande intermédiaire. Ces deux couleurs sont, au contraire, séparées.

Panum insiste pour que les couleurs à mélanger binoculairement ne soient prises ni trop vives, ni trop différentes, parce qu'autrement la lutte des champs visuels serait trop vive, ce qui empêcherait de reconnaître la couleur résultante. Pour satisfaire à cette indication, j'ai eu recours au procédé de H. Meyer, déjà décrit au sujet des phénomènes de contraste, et j'ai recouvert les champs colorés à combiner, d'un papier blanc et mince, qui ne laissait voir que faiblement les couleurs situées au-dessous. En faisant coïncider ces couleurs très-blanchâtres, je crus effectivement, au premier abord, voir la couleur résultante. Mais dès que je fis apparaître à côté la couleur résultante véritable des deux champs, je reconnus de nouveau la lutte des champs visuels dans les carrés superposés binoculairement.

Dans un assortiment de papiers colorés et gris, on réussit parfois à en découvrir qui soient exactement de la couleur résultante de deux autres, telle qu'elle se produit avec un prisme biréfringent ; les expériences

deviennent alors plus faciles encore et plus frappantes. — Je plaçai l'une à côté de l'autre une feuille verte et une feuille rouge rose d'un papier luisant ; puis, en travers de ces deux feuilles, c'est-à-dire horizontalement, une bande de papier d'un gris répondant à leur couleur résultante. Le tout fut recouvert d'un mince papier blanc. Lorsque je regardais ces champs à travers un prisme biréfringent de manière que les images doubles fussent sur la même horizontale, il y avait, le long de la bande grise horizontale, coïncidence de gris et de gris ; au-dessus et au-dessous, le milieu de l'image présentait une coïncidence de rose et de vert, ce qui donnait aussi du gris, et ce dernier gris se distinguait à peine du gris de la bande horizontale. Mais lorsque je produisais des images doubles binoculaires, après avoir ôté le prisme biréfringent, la bande où le gris coïncidait avec le gris tranchait très-nettement sur celle formée de rose et de vert, et, sur cette dernière, on voyait de nouveau les deux couleurs simultanément. Mais dès que j'enlevais la bande grise, je ne reconnaissais plus nettement la lutte des champs visuels et je ne remarquais plus au milieu que la partie commune aux deux couleurs, c'est-à-dire le blanc.

Dans d'autres cas, ce sont des images accidentelles qui produisent un mélange apparent. — Pour s'en assurer, on peut très-bien employer une disposition analogue à la précédente. En haut, une bande grise ; en bas et à droite, du vert ; en bas et à gauche, du rouge rose ; ces deux dernières couleurs, mélangées à travers le prisme biréfringent, donnent le gris de la bande supérieure. Je fais coïncider binoculairement les deux carrés colorés et je ne vois d'abord entre eux qu'une lutte vive. Mais si je maintiens longtemps la fixation, le champ mélangé binoculairement finit par ressembler au gris d'en haut ; il ne s'écarte que peu, tantôt du côté du rouge, tantôt de celui du vert. Mais si je recouvre alors le rouge avec du vert en fermant l'un ou l'autre œil, je vois une image accidentelle grisâtre du vert sur du vert, tandis que sur la partie du champ visuel où il y avait d'abord du rose, je vois apparaître le vert saturé pur. Il est donc bien visible que le vert modifié par la fatigue est devenu réellement très-analogue au gris de la bande supérieure. On trouve la même chose sur le rose, lorsqu'on cache le vert. Ainsi, dans ce cas, la production apparente du blanc résultant provient de ce que les couleurs elles-mêmes sont devenues bien plus analogues au gris, dans la sensation, par suite de la formation d'images accidentelles complémentaires et que la différence et la lutte, entre des couleurs devenues ressemblantes, cessent d'être aussi frappantes que pour les couleurs vives qu'on avait d'abord.

Dans certains cas, l'action inductrice de la couleur du fond sur un petit champ d'une autre couleur, action mentionnée page 527, peut

produire un mélange binoculaire apparent. — Je fixai fortement, pendant assez longtemps, les images doubles binoculaires d'une bande bleue horizontale placée sur un fond rouge, la fixation étant maintenue à l'aide de deux points noirs marqués sur la bande bleue et sur le fond rouge. Je ne vis d'abord que la lutte du rouge et du bleu, sur la partie du champ où ces deux couleurs se superposaient; je remarquai ensuite l'apparition de violet véritable. Mais en fermant un œil, je reconnaissais également, à la vision monoculaire, la présence du rouge induit sur la bande bleue.

Enfin, c'est dans un exemple déjà étudié par H. Meyer et par Panum (1), que l'apparence d'un mélange binoculaire me paraît se produire de la manière la plus frappante. Soit à droite un champ jaune portant une bande rouge rose horizontale, à gauche un champ bleu avec une bande verticale du même rouge. Si l'on fait coïncider binoculairement les champs jaune et bleu de manière que les bandes roses paraissent se croiser, la bande de gauche, dont la majeure partie coïncide avec le champ jaune, paraît certainement bien plus jaunâtre que la bande de droite, qui coïncide en grande partie avec le champ bleu. Au milieu, où les deux champs se croisent, on voit du rouge rose pur, ou plutôt, ce me semble, le rouge jaunâtre de l'une des bandes paraît passer intact derrière le rouge bleuâtre de l'autre bande. Panum considère la coloration jaunâtre de l'une des bandes et la coloration bleuâtre de l'autre comme résultant du mélange binoculaire de leur couleur avec celle du champ opposé. Il faut remarquer que la modification des deux bandes rouges présente sa plus grande vivacité lorsqu'on laisse errer le regard, parce qu'alors la bande située sur le jaune reçoit l'image accidentelle bleue du jaune, et celle qui est sur le bleu, l'image accidentelle jaune du bleu ; mais il est certain que l'effet se produit également, bien qu'à un degré moindre, lorsque le regard est fixe. Cependant on peut s'assurer que, dans ce cas encore, il s'agit d'un effet de contraste. En effet, la modification de la couleur rouge persiste lors même qu'en fermant un œil, on supprime le mélange binoculaire. Fermons l'œil droit, qui est dirigé vers le champ jaune, la bande rouge rose reste encore tout aussi jaunâtre qu'auparavant, sur le champ bleu qui reste. Il est certain qu'au moment où l'on ferme l'œil, le jaune qui couvre binoculairement cette bande disparaît comme une sorte de nuage jaune, à travers lequel on l'aurait vue, mais la coloration apparente du rouge lui-même reste tout à fait inaltérée. De même, la

(1) Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel, 1858, p. 41, fig. 27 et 29.

bande rouge située sur le champ jaune conserve invariablement sa coloration rouge bleuâtre, lors même qu'on ferme l'œil gauche qui était dirigé vers le champ bleu. Il résulte de là que la modification du rouge ne provient pas, ou du moins ne provient pas uniquement d'un mélange binoculaire, mais que c'est un effet de contraste. Dès le commencement de l'expérience et même à la vision monoculaire, le rouge situé sur le champ bleu paraît plus jaunâtre par contraste, et celui situé sur le champ jaune paraît plus bleuâtre. Dès qu'on fait coïncider les deux champs, l'effet de contraste devient assurément bien plus vif; et une fois qu'il est fortement développé, il ne disparaît plus, lors même qu'on ferme un œil et qu'on fait cesser ainsi la coïncidence binoculaire. Dans tout contraste, comme nous avons cherché à le démontrer au paragraphe 24, l'appréciation de la couleur flotte entre certaines limites. Des circonstances accessoires peuvent nous amener à rapprocher plutôt d'une limite que de l'autre, la couleur que nous voyons. Dans l'expérience qui nous occupe, on peut très-bien considérer comme une semblable circonstance accessoire la coïncidence binoculaire avec la couleur complémentaire du fond sur lequel se trouve la bande rouge. Du reste, je reviendrai plus loin sur l'étude des contrastes binoculaires.

Quant à la théorie de la combinaison binoculaire des couleurs, si nous partons de la théorie des couleurs de Th. Young, la seule différence est qu'ici les fibres nerveuses correspondant aux trois couleurs fondamentales différentes, et qui sont excitées à des degrés différents, sont distribuées sur les deux rétines au lieu d'être situées sur la même. De deux choses l'une : ou les fibres nerveuses de trois espèces différentes, qui appartiennent à un même point d'une rétine, ont le même signe local; ou bien, si elles ont des signes locaux différents, il ne peut se présenter aucune condition expérimentale telle qu'elles soient excitées par des objets situés dans des parties différentes du champ de vision. Rien ne peut donc nous porter à localiser séparément ces sensations par rapport aux directions dans le champ visuel. Par conséquent, leurs différentes sensations se confondent en une sensation composée, celle d'une couleur résultante, sensation qui se présente en général à nous comme le signe sensuel d'une nature déterminée de l'objet, localement simple, qui se trouve dans cette partie du champ visuel. Et cependant nous avons vu que, même dans le mélange monoculaire, il se présente également des cas où nous croyons voir l'une des couleurs composées comme à travers les autres ; ce phénomène apparaissait lorsque, soit une répartition inégale de la lumière, soit le mouvement d'une image localement limitée, soit la présence d'une partie de la couleur sur tout

le champ de vision, nous amenaient à conclure à la présence d'un éclairage coloré, ou d'un voile coloré situé en avant de l'objet.

Lorsque des parties correspondantes dans les deux rétines ne sont pas éclairées de la même manière, on reçoit une impression telle que ne peut jamais la donner un objet réel, uniformément éclairé de toutes parts. Nous n'en localisons pas moins les deux couleurs dans une seule et même partie du champ de vision commun, ce qui n'est probablement pas attribuable à une disposition innée de notre système nerveux, mais à un effet d'habitude. On voit donc deux couleurs dans le même endroit, et on les perçoit séparément. Ce qui se rapproche le plus de cette image visuelle, ce sont évidemment les cas de mélange monoculaire où nous voyons, ou croyons voir, l'un derrière l'autre deux objets colorés dans la même partie du champ visuel, et un certain nombre d'observateurs, parmi lesquels je me range, ne voient la chose que de cette manière. L'attention présente alors des oscillations ; elle se porte tantôt vers l'un, tantôt vers l'autre champ, ce qui se manifeste par l'état d'antagonisme. On peut, du reste, voir également dans le champ visuel monoculaire quelque chose d'analogue à l'antagonisme, mais à un degré bien moindre. Qu'on fasse coïncider, à l'aide d'une lame de verre non étamée, l'image réfléchie d'un objet avec un autre objet vu à travers le verre, ces deux objets présentant à peu près la même intensité lumineuse et des formes bien accentuées, mais tout à fait différentes. On peut alors examiner l'un ou l'autre objet ; celui qu'on ne regarde pas passe sur le second plan, tout en étant loin de disparaître aussi complétement que lors de la superposition binoculaire. En imprimant de petits mouvements à la lame réfléchissante, on peut faciliter beaucoup l'inspection isolée des deux images.

Comme, d'après la théorie d'Young, la notion de la couleur résultante repose toujours sur ce que trois sensations colorées différentes sont projetées dans la même partie du champ visuel, et comme, même dans le mélange monoculaire, un acte de jugement, qui peut être influencé par des circonstances accessoires, décide seul si les couleurs composantes doivent être considérées comme l'expression sensuelle d'une qualité simple d'un seul objet, ou comme celle de deux qualités différentes de deux objets, il n'est pas impossible que, lors de la superposition binoculaire de deux couleurs, on fasse abstraction de la différence qui existe entre ce genre d'impression et celle du mélange monoculaire, et que l'on combine les couleurs conformément à ce qui se présenterait dans le mélange monoculaire. En effet, d'après la théorie des couleurs d'Young, la couleur résultante n'est pas autre chose que l'addition de trois impressions différentes, qui n'exercent aucune in-

fluence l'une sur l'autre, mais qui sont localisées de même, et les actes de jugement qui donnent lieu tantôt à la combinaison, tantôt à la séparation, peuvent alors varier beaucoup d'un observateur à l'autre, suivant l'habitude ou l'expérience individuelle de chacun. Il est naturel alors que la réunion de couleurs très-analogues, ayant beaucoup de parties communes et peu de différences, se produise avec plus de facilité que la combinaison de couleurs très-différentes. Il faut encore ajouter que l'observation d'un objet réel peut être souvent accompagnée de petites différences dans les impressions reçues par les deux yeux ; c'est ce qui arrive lorsqu'un œil est plus fatigué ou plus reposé que l'autre, lorsqu'il reçoit latéralement en plus grande abondance de la lumière vive ou colorée qui s'y diffuse, et ainsi de suite. L'habitude peut donc apprendre à laisser passer inaperçues de petites différences de ce genre. Si l'on vient cependant à placer un champ qui présente une semblable impression, tout contre un autre où les deux couleurs qui se superposent sont égales, la différence devient perceptible et l'on remarque la lutte qui se produit alors, même entre des impressions peu différentes.

Enfin, la combinaison binoculaire de champs différemment colorés ou différemment éclairés donne des résultats tout à fait particuliers lors de la combinaison de dessins stéréoscopiques. — En effet, si l'on fait blanche, dans l'une des deux images d'un corps, une surface qu'on laisse noire dans l'autre image, ou si on leur donne des couleurs différentes, mais qui ne le soient de préférence pas trop, cette surface paraît *lustrée*, dans la combinaison stéréoscopique, tandis que les autres parties de l'objet, qui possèdent la même coloration et la même intensité lumineuse dans les deux dessins, paraissent *mates*. Du reste, cet aspect lustré ou mat est tout à fait indépendant de la nature véritablement mate ou brillante des surfaces du dessin, pourvu que, si elles sont brillantes, elles n'envoient pas de lumière réfléchie à l'œil de l'observateur.

On peut même combiner stéréoscopiquement des dessins linéaires représentant, par exemple, des formes cristallines et dont l'un est tracé en lignes noires sur fond blanc, et l'autre en lignes blanches sur fond noir. On obtient alors la même impression que si le corps que l'on voit était formé d'une matière foncée et brillante, comme le graphite, et placé sur une surface de graphite. On voit un exemple de ce genre dans la figure Q (pl. IX).

Sur les photographies stéréoscopiques d'objets brillants, tels que certaines feuilles de végétaux, du satin, etc., on trouve souvent des

parties qui présentent des reflets différents dans les deux dessins et qui, dans l'image combinée, provoquent l'impression du lustre. Cette impression se remarque peut-être de la manière la plus frappante sur des photographies instantanées d'une eau agitée éclairée par le soleil. De même, en regardant des objets brillants par eux-mêmes, on peut très-souvent constater que certaines parties de ces objets donnent un reflet bien plus fort à l'un des yeux qu'à l'autre.

C'est dans cette circonstance que me paraît résider le motif pour lequel, dans les dessins stéréoscopiques, les surfaces différemment éclairées paraissent brillantes dans la combinaison. Lorsqu'une surface mate reçoit de la lumière, elle renvoie cette lumière uniformément dans toutes les directions, et de manière à paraître également éclairée, de quelque point qu'on la regarde. Il s'ensuit que, dans les conditions de la vision normale, elle doit présenter la même intensité lumineuse à nos deux yeux. Les surfaces lustrées sont, au contraire, celles qui présentent une réflexion plus ou moins régulière. Elles peuvent présenter un grand nombre d'inégalités plus ou moins saillantes ; lorsque la surface de ces inégalités est polie et qu'elle se rapproche, en moyenne, d'une direction déterminée, la lumière incidente est renvoyée, pour la plus grande partie, suivant la direction où la surface régulièrement réfléchissante renverrait toute la lumière. Dans ces conditions, il peut souvent arriver qu'un de nos yeux soit sur la direction de la lumière réfléchie et que l'autre n'y soit pas. La surface paraît alors fortement éclairée au premier œil et faiblement au second. Par conséquent, lorsque l'image d'un corps nous présente, au stéréoscope, une surface différemment éclairée pour les deux yeux, nous obtenons une sensation qui ne peut être produite en réalité que par des objets brillants et jamais par des objets mats ; aussi la surface examinée nous paraît-elle brillante.

Il peut, de même, arriver qu'un objet brillant entouré d'objets colorés envoie, à chaque œil, de la lumière réfléchie d'une couleur différente, et présente par conséquent des colorations différentes aux deux yeux, tandis qu'un corps mat, dans les conditions normales de la vision, doit toujours présenter la même coloration aux deux yeux. Si donc, au stéréoscope, la même surface présente des colorations différentes dans les deux dessins, nous obtenons une impression sensuelle que ne peuvent produire que les corps brillants. Comme la couleur du corps brillant lui-même se mêle, en général, à celle des deux reflets, et que ceux-ci réfléchissent rarement une couleur unique et tout à fait pure, les différences de coloration que présentent aux deux yeux de semblables reflets d'objets brillants ne sont généralement pas très-considérables : aussi

le lustre se reproduit-il plus facilement par la combinaison de couleurs qui ne sont pas très-différentes, que si l'on prend des couleurs très-brillantes et très-différentes. Ces dernières présentent plutôt des effets d'antagonisme que de lustre.

D'après les observations de Wundt, le lustre résultant de la combinaison de deux champs colorés se manifeste le mieux lorsque les deux champs contrastent à peu près également avec le fond sur lequel ils sont situés; il est plus faible lorsque l'un contraste bien plus fortement que l'autre; en effet, ce champ prédomine trop et triomphe de l'autre dans la lutte des champs visuels. Plaçons, par exemple, un carré jaune clair et un carré bleu foncé de même grandeur sur un fond blanc ou noir, et amenons-les à se superposer binoculairement : dans l'un de ces cas, le jaune se distingue trop peu du fond blanc; dans l'autre, le bleu se distingue trop peu du fond noir, et le lustre est bien moins marqué que si l'on place les deux carrés sur un fond gris, dont ils se distinguent à peu près également.

Lorsqu'on fait, sur l'un des carrés, des dessins à contours très-prononcés, on parvient également à lui donner un tel avantage dans l'antagonisme, que l'apparition du lustre devient indécise.

On peut également produire le brillant binoculaire sans avoir recours aux dessins stéréoscopiques; il suffit de regarder des objets bariolés, à travers deux verres différemment colorés, un dessin bleu et rouge, par exemple, à travers un verre bleu et un verre rouge. Chaque verre laisse paraître claire la couleur homonyme, tandis qu'il assombrit l'autre, et le dessin prend un aspect lustré très-remarquable. Dove a fait, à ce sujet, la remarque importante que le lustre disparaît dès que l'une de ces couleurs supplante complétement l'autre, tandis qu'il se produit au moment de la transition, où les deux couleurs apparaissent simultanément.

L'éclat métallique est caractérisé par ce fait que la lumière réfléchie régulièrement est elle-même déjà colorée et non pas blanche, comme celle des corps transparents. Aussi l'éclat métallique appartient-il aux corps qui donnent les couleurs de lames minces, comme les plumes éclatantes des oiseaux et certains corps, tels que l'indigo, qui sont fortement colorés et très-réfringents.

Le phénomène du brillant stéréoscopique présente de l'intérêt relativement à la théorie de l'activité des deux rétines, parce qu'il en résulte d'une manière certaine ce fait, — que la diversité des assertions des différents observateurs sur les résultats de la coïncidence binoculaire de deux images différentes ont pu laisser dans le doute, — que deux actions lumineuses hétérogènes exercées sur des parties corres-

pondantes des rétines produisent toujours une impression sensuelle toute différente de celle que produiraient deux actions analogues exercées sur les mêmes parties. Lorsque l'un des yeux voit du noir et l'autre du blanc dans des parties correspondantes des champs visuels, l'impression produite est celle d'une surface blanchâtre et lustrée. Mais si nous répartissons uniformément entre les deux côtés la lumière blanche qui n'agissait que sur un seul œil, c'est-à-dire si nous combinons du gris avec du gris, la sensation produite est celle d'un gris mat, bien différente de celle du blanc lustré que produisait la première combinaison.

La même observation s'applique également au lustre produit par la combinaison binoculaire de couleurs différentes.

On pouvait assurément déjà tirer la même conclusion de ce fait que deux dessins stéréoscopiques, combinés binoculairement, donnent l'expression d'un corps et non pas celle de lignes tracées toutes sur la même feuille; mais, dans ce cas, les mouvements de l'œil exerçaient une influence importante que l'éclairage instantané de l'étincelle électrique permettait seul d'éliminer.

Je ferai encore remarquer que j'ai aussi examiné, à l'éclairage de l'étincelle électrique, des dessins qui présentent un lustre stéréoscopique, et que là également j'ai observé parfaitement l'impression du brillant. Ce fait est important parce qu'il démontre que le lustre ne provient pas, comme on l'a pu dire, du changement d'éclairage et de coloration que produit l'antagonisme. A moins d'efforts d'attention particuliers, je n'ai jamais vu la modification produite par l'antagonisme se répéter plus rapidement que par périodes de huit secondes, et le temps nécessaire est généralement bien plus considérable. Quand même l'impression lumineuse exercée sur la rétine durerait une fraction de seconde, ce temps est insuffisant pour que l'antagonisme des champs visuels puisse produire aucune modification sensible. Mais ce temps si court est suffisant pour s'assurer que l'on voit simultanément, et dans la même partie du champ commun de la vision, les deux impressions différentes des deux champs visuels.

L'impression du lustre peut également être produite par des images et des objets vus monoculairement, lorsque, par exemple, leur éclairage se modifie rapidement par suite de mouvements de l'observateur; alors les éléments dont se compose le lustre stéréoscopique ne s'observent pas simultanément, mais dans une succession rapide. De plus, les objets mobiles paraissent brillants lorsque l'éclairage de leurs différentes parties subit des modifications rapides, ce qui arrive, par exemple, pour la surface d'une eau agitée. Il suffit même que l'éclairage varié des

parties d'une surface affecte l'aspect des reflets lumineux de corps imparfaitement réfléchissants. Wundt a produit du lustre monoculaire en regardant un carré foncé, sur un fond d'une autre couleur foncée, à travers une lame de verre non étamée dont la face antérieure réfléchissait, en même temps, un carré clair sur fond clair, de telle façon que ces images réfléchies coïncidaient à peu près avec les premières. Le lustre disparaissait lorsque le carré réfléchi paraissait se trouver exactement au même endroit que l'autre; on ne voyait alors que la couleur résultante. Mais le lustre reparaissait lorsque le carré réfléchi semblait se trouver en arrière du carré véritable. Lorsqu'il se plaçait en avant, c'était plutôt le carré réfléchi qui paraissait lustré. Il se formait donc ici la même notion que si l'on voyait, derrière et à travers le carré réel, un second carré présentant l'aspect d'une image réfléchie du premier, ce qui produisait l'apparence du lustre. Ces expériences sont particulièrement propres à montrer qu'il ne s'agit pas ici de qualités particulières de la coloration, mais de la production d'une illusion qui nous ferait croire à la présence d'une seconde image produite par réflexion de la surface perçue.

L'apparence de la transparence se présente aussi parfois lors de coïncidence binoculaire de deux champs différemment colorés, ainsi que Wundt l'a fait remarquer. — Si l'on amène, par exemple, à coïncider binoculairement, d'une manière incomplète, un carré jaune clair et un carré bleu moins clair, sur fond blanc, le bleu paraît transparent à l'endroit où on le voit recouvrir la séparation du jaune et du blanc. Mais cette apparence n'existe pas là où le jaune couvre la séparation du bleu et du blanc. Sur fond noir, c'est au contraire le jaune qui paraît transparent. En général, le champ qui contraste le plus avec le fond, est celui qui paraît transparent; c'est ce qui s'accorde avec la circonstance objective d'après laquelle un objet vu à travers un milieu translucide, qui est lui-même perçu distinctement, n'apparaît pas net; tandis que les limites de ce milieu, que rien ne vient couvrir, se distinguent en général très-nettement.

Nous avons encore à parler de quelques phénomènes qu'on doit, ou du moins qu'on peut considérer comme des effets de *contraste* entre les sensations des deux yeux.

D'abord, Fechner, en particulier, a fait remarquer combien de petites différences dans l'adaptation momentanée des deux yeux pour les couleurs se manifestent facilement lorsque, regardant binoculairement un petit objet éclairé sur fond noir, on vient à dissocier les images par une modification dans la position des yeux. — C'est ainsi que, lorsqu'un

œil a été fermé, tandis que l'autre a regardé des surfaces blanches éclairées, si l'on examine, aussitôt après, les doubles images d'une bande blanche sur fond noir, celle qui appartient à l'œil fatigué est plus obscure et plus violette que l'autre, qui appartient à l'œil précédemment reposé. Lorsqu'au contraire l'œil resté ouvert s'était porté sur une surface colorée, l'image relative à cet œil présente la couleur complémentaire, et l'autre la couleur homonyme de celle du champ inducteur. Dans cette expérience, la coloration complémentaire de l'image qui appartient à l'œil fatigué reste bien plus longtemps visible que lorsqu'on a regardé avec les deux yeux une même surface colorée, de manière à laisser la même adaptation chromatique dans les deux yeux. Par exemple, sans le secours des images doubles, il est très-difficile de constater que l'image accidentelle d'une surface blanche modérément lumineuse possède une coloration bleuâtre, tandis que cette circonstance apparaît aussitôt lors de la comparaison avec l'image double de l'œil reposé, laquelle paraît jaune orangé clair. Si la différence d'intensité des deux images est très-grande, on peut beaucoup faciliter la comparaison en assombrissant convenablement celle de l'œil libre, soit en regardant à travers un petit trou pratiqué dans une feuille de papier noir, soit en mettant devant cet œil un prisme biréfringent qui donne deux images de la bande claire, dont chacune présente la moitié de l'intensité de l'image directe, soit enfin en faisant usage d'un verre *neutre*, dont on a constaté préalablement l'absence de coloration.

Il résulte de ces expériences que la comparaison des deux rétines peut se faire avec une grande exactitude ; elle paraît même pouvoir se faire avec une exactitude plus grande et pendant bien plus longtemps que cela n'est possible lorsque les deux couleurs doivent être comparées à l'aide des mêmes parties d'une seule rétine. En effet, pour comparer la couleur que la rétine perçoit en blanc, par exemple, avec celle qui lui présentait l'aspect du blanc lorsqu'elle n'était pas fatiguée, il faut fixer fortement un objet blanc sur fond noir pour développer une image accidentelle nettement dessinée qu'on examine ensuite sur un fond uniformément blanc. Indépendamment de ce que l'effort assez considérable exigé par la fixation peut exercer une influence sur les résultats, indépendamment encore de ce qu'on n'a pas l'avantage de pouvoir assombrir à volonté l'image claire, les images accidentelles limitées sur une rétine cessent rapidement d'être perceptibles, parce qu'en général nous remarquons difficilement des différences constantes d'intensité ou de coloration qui peuvent exister entre des parties rétiniennes différentes et qui ne sont pas ravivées par des modifications continuelles.

Nous avons vu au § 24 que nous avons une disposition à considérer

les différences d'intensité et de coloration nettement perceptibles, comme plus grandes que celles dont la perception est indécise, et nous avons vu que c'est à cette circonstance qu'il faut rapporter la majeure partie de ce qu'on appelle les phénomènes de contraste. Dans le cas actuel, il se manifeste un semblable effet de contraste par cette circonstance que l'image non modifiée se colore, s'éclaire ou s'assombrît par opposition avec l'image modifiée. C'est ainsi que le blanc pur de l'œil non fatigué paraît jaune à côté du gris violacé de l'œil fatigué pour le blanc, ou que le premier paraît vert, lorsque l'autre est coloré en rose par l'image accidentelle du vert, etc.

Au lieu de colorer l'une des images par une image accidentelle, on peut encore employer un verre coloré que l'on met devant l'un des yeux. Alors encore je retrouve ce fait, qui nous a paru caractéristique pour les phénomènes de contraste, qu'avec une couleur faible l'effet de contraste est bien plus net qu'avec une couleur très-saturée. Un verre à vitre verdâtre, ou un verre de bouteille jaune rougeâtre, communiquent à l'image double une coloration complémentaire bien plus nette que lorsqu'on regarde à travers un verre d'une couleur foncée, lors même que, dans ce cas, à l'aide de verres gris convenables, on ramènerait l'image de l'autre œil à la même intensité lumineuse que l'image colorée.

Il peut même se produire un contraste entre des couleurs situées sur des parties correspondantes des deux rétines. Plaçons une bande noire sur un fond blanc, dissocions les images doubles, et mettons ensuite devant les yeux deux verres, l'un bleu et l'autre gris, qui soient à peu près également sombres. On voit alors l'une des images de la bande noire s'entourer de bleu, et l'autre de blanc, tandis que sur le reste du fond, le bleu et le blanc se superposent plus ou moins uniformément. Le blanc qui ressort le long des contours de la bande noire présente alors une coloration jaunâtre très-manifeste. Si l'on ôte les deux verres, on voit un blanc jaunâtre à l'endroit où prédominait le bleu, un blanc bleuâtre à l'endroit où la coloration était d'abord jaunâtre.

Si, dans cette expérience, nous remplaçons le verre bleu par un jaune, les résultats sont analogues, le bleu et le jaune occupant des positions inverses de celles du cas précédent.

Il doit paraître surprenant que, sous l'influence du contour noir, notre attention se porte d'une manière tellement exclusive sur le blanc contigu, et qu'elle le sépare assez complétement du bleu qui le recouvre dans le champ commun de la vision pour que ce blanc puisse même paraître jaunâtre. Le blanc jaunâtre manifeste d'ailleurs son caractère de couleur par contraste en persistant un peu lors même qu'on ferme

complétement l'œil qui est placé derrière le verre bleu. C'est ainsi qu'au sujet des ombres colorées (p. 518) nous avons également trouvé qu'une fois établi, le jugement sur la nature d'une couleur peut subsister même après la suppression, dans le champ de la vision, de la couleur contrastante qui avait provoqué l'erreur.

Dans les expériences que nous avons vues jusqu'ici, le contraste avait lieu lors de la comparaison de deux couleurs appartenant à des champs visuels différents ; l'effet du contraste monoculaire peut également être renforcé par la comparaison binoculaire avec le contraste opposé. — Plaçons l'une contre l'autre, à droite, une feuille de papier rouge rose, à gauche, une feuille de papier vert ; plaçons de plus, de part et d'autre, des bandes de papier blanc près de la ligne de contact. Si l'on examine ces deux bandes à l'œil nu, on n'y remarque, en général, aucune coloration par contraste, tant qu'il ne s'est pas développé de fortes images accidentelles des deux couleurs. Si l'on regarde avec un œil l'une de ces bandes à travers un tube noir, l'autre œil étant fermé, on remarque assurément une légère coloration complémentaire par contraste. Mais si l'on met des tubes noirs devant les deux yeux, de manière que l'œil droit voie l'une des bandes avec une partie du fond rouge, et l'œil gauche l'autre bande avec une partie du fond vert, et cela sans faire coïncider binoculairement les deux bandes, les colorations complémentaires des deux bandes présentent une intensité rare. L'intensité de l'effet augmente de plus en plus à mesure qu'on prolonge l'expérience sans fixer le regard sur un point déterminé : il se produit en effet alors des images accidentelles de plus en plus fortes du fond, et comme l'œil droit et l'œil gauche ne voient respectivement que le fond rouge et le fond vert, les mouvements ne peuvent développer dans l'œil droit que du vert, et, dans l'œil gauche, que du rouge, ce qui ne peut faire qu'augmenter l'effet de contraste.

Ce serait là un *contraste successif*, un de ceux qui reposent sur les images accidentelles ; cependant si, au commencement de l'expérience, on dirige rapidement les yeux vers la bande blanche et qu'on les fixe le plus rapidement possible dans la position convenable, on voit également les couleurs par contraste, quoique bien plus faiblement. — Comme, dans les conditions de cette expérience, la comparaison des couleurs des deux champs visuels rend très-facilement visibles les images accidentelles du fond, j'ai cru nécessaire de chercher une disposition qui mît complétement à l'abri de toute production d'une image accidentelle du fond. A cet effet, je fixai sur une lame de verre deux bandes de papier, parallèles entre elles et dirigées verticalement; celle du côté droit était noire en haut et grise en bas, l'autre était grise en haut

et noire en bas. Je plaçai la lame de verre sur une surface recouverte à droite d'un papier rouge et à gauche d'un papier vert, de sorte que la bande de droite était sur un fond rouge et l'autre sur un fond vert. Avant de commencer l'expérience, je glissais un papier blanc entre la lame de verre et la surface colorée, de manière à recouvrir entièrement cette dernière. Je fixais ensuite binoculairement les bandes grises et noires de manière à en obtenir la superposition ; alors les moitiés supérieure et inférieure de l'image sont formées chacune de la superposition d'une partie noire et d'une partie grise. Au milieu de chaque bande, j'avais disposé un point blanc destiné à servir de point de fixation. En combinant binoculairement les deux points blancs, je pouvais maintenir avec certitude la fixation de l'image commune des bandes. Au moment où j'enlevais le papier blanc pour mettre à découvert la surface colorée, il se produisait assurément des traces d'une coloration par contraste, mais extrêmement peu accentuée. Le gris situé sur le fond vert paraissait rougeâtre, celui entouré du fond rouge paraissait verdâtre. Il suffisait, au contraire, de quelques mouvements latéraux du regard, pour faire apparaître aussitôt la coloration par contraste dans toute son intensité. Les faibles colorations du commencement étaient moins sensibles que celles qui se produisent dans le contraste monoculaire. L'effet était plus faible encore lorsqu'on remplaçait le gris par du blanc.

Les purs effets du contraste simultané sur les deux bandes grises étaient donc affaiblis par la comparaison binoculaire. En effet, en rapprochant binoculairement les gris des champs visuels, l'expérience rendait possible de faire, entre ces deux gris, une comparaison plus exacte que précédemment dans le champ monoculaire où les deux bandes étaient séparées l'une de l'autre par de grands intervalles de vert et de rouge. Par conséquent, sous ce rapport, les phénomènes du contraste successif qui reposent sur une modification que les images accidentelles produisent dans la sensibilité se comportent d'une manière tout à fait autre que les phénomènes du contraste simultané, dont nous avons attribué la production à des erreurs de jugement. La comparaison binoculaire rend les premiers plus frappants, tandis qu'elle atténue les seconds en agissant comme correctif.

Dans la forme, décrite jusqu'ici, de l'expérience, on évitait une coïncidence binoculaire des bandes grises avec un fond coloré ; ces bandes coïncidaient avec du noir. Mais en modifiant la convergence des yeux, on peut séparer leurs images assez pour qu'au lieu de coïncider elles ne fassent plus que se toucher. En les amenant dans cette position apparente avant d'avoir enlevé la feuille blanche, s'assurant ainsi de l'égalité d'aspect des deux gris, et supprimant alors le papier blanc de ma-

nière à faire apparaître le fond coloré, on voit la bande entourée de rouge, qui coïncide binoculairement avec du vert, présenter une coloration verte bien manifeste, et l'autre bande, qui est entourée de vert et coïncide avec le rouge, présenter de même une coloration rouge tout aussi prononcée. On obtient, d'une manière tout à fait frappante, l'impression qu'on aurait s'il se produisait un mélange binoculaire du gris avec les deux couleurs du fond. Si l'on glisse de nouveau le papier blanc sous la lame de verre, on voit disparaître immédiatement les colorations, ainsi que cela devrait se produire pour un mélange des couleurs du fond avec le gris.

Mais on voit, par une autre expérience, qu'il ne s'agit pas ici d'un mélange. — Si je ferme l'œil droit pendant que je vois les bandes colorées complémentairement, il ne me reste plus que la bande entourée de vert, et, bien qu'il s'en détache une sorte de voile rouge, dû au rouge qui la recouvrait binoculairement, sa couleur propre, le gris, reste encore aussi rougeâtre qu'elle l'était auparavant ; c'est ce qui ne serait pas possible si l'aspect rougeâtre du gris ne provenait que d'un mélange (binoculaire) avec le rouge. Dès que le rouge du mélange viendrait à manquer, on devrait voir reparaître la couleur primitive, qui deviendrait plutôt verdâtre par contraste. Je crois plutôt qu'on peut expliquer le résultat de ces expériences, de la manière suivante : Nous avons vu plus haut que si les deux champs visuels contiennent du gris qui coïncide binoculairement avec du noir, nous pouvons très-exactement comparer les tons de ces deux gris, et que cette comparaison immédiate des deux gris affaiblit les effets du contraste monoculaire qui pourraient nous porter à les considérer comme différents. Dans la dernière expérience, au contraire, du gris entouré de rouge, ce qui nous porte à le croire verdâtre, coïncide binoculairement avec du vert ; l'autre gris, coloré en rougeâtre par contraste avec son entourage vert, coïncide binoculairement avec du rouge. Ici, les deux surfaces à comparer coïncidant binoculairement avec deux couleurs différentes et vives, cette circonstance peut rendre la comparaison très-incertaine, et, par conséquent, renforcer le contraste.

Quand on interpose ensuite une surface blanche, à l'aspect de laquelle les yeux peuvent rectifier leur appréciation du blanc, le contraste disparaît subitement. L'interposition d'une surface noire rend également possible une comparaison exacte et non faussée des deux bandes grises, ce qui fait encore disparaître leur contraste. Si, au contraire, on ne ferme qu'un seul œil, il ne se présente aucun élément qui puisse servir à rectifier le jugement, et le contraste persiste.

Le résultat des expériences décrites jusqu'ici peut se résumer de la

manière suivante : Si, dans le champ binoculaire, l'œil droit et l'œil gauche voient respectivement les images α et β au contact immédiat l'une de l'autre ; si α coïncide avec le fond b et β avec le fond a, la comparaison entre les colorations de α et de β, objectives ou modifiées par des images accidentelles, se fait très-exactement, toutes les fois que le fond a présente la même coloration que b ; la comparaison est, au contraire, très-incertaine toutes les fois que a et b possèdent des colorations des éclairages différents. La première condition détruit le contraste simultané monoculaire, la seconde le favorise.

L'habitude que nous avons acquise de distinguer les couleurs propres des corps au milieu d'un éclairage coloré très-répandu exerce son influence sur quelques autres expériences de contraste binoculaire, de la même manière que sur un grand nombre d'expériences de contraste monoculaire.

En premier lieu, il faut citer ici l'*expérience paradoxale de Fechner* (1). — Regardant une surface blanche, qu'on ferme et qu'on ouvre alternativement l'œil droit, on remarquera qu'au moment de l'occlusion, la surface blanche qu'on ne voit plus alors que de l'œil gauche, paraît un peu plus sombre que lorsque les deux yeux sont ouverts. Ainsi, comme on devrait s'y attendre, lorsqu'on exclut la lumière de l'un des yeux, il se produit dans l'image un obscurcissement, très-faible il est vrai, et à peine perceptible pour certains yeux. Changeons maintenant les conditions de l'expérience en mettant devant l'œil droit un verre gris assez foncé. Si l'on ouvre alors l'œil droit, l'image paraît, au contraire, plus foncée ; elle devient plus claire, lorsqu'on le ferme. Nous avons donc un obscurcissement apparent lorsque les yeux reçoivent plus de lumière et un éclaircissement lorsqu'ils en reçoivent moins. Si l'on prend des verres gris de plus en plus clairs, ce résultat négatif disparaît et cède enfin la place au résultat positif que présentent les yeux nus, c'est-à-dire que lorsqu'on ouvre l'œil fermé, l'image devient plus claire. Si l'on passe, au contraire, à des verres très-foncés, on finit par arriver à une limite où il est indifférent que l'œil situé derrière le verre soit ouvert ou fermé, la lumière incidente n'exerçant plus alors aucun effet sensible. Un verre moyennement foncé donne donc le résultat maximum. Fechner employait à cet effet des verres qui laissaient passer de 3 à 5 centièmes de la lumière incidente. Au lieu de verres gris, on peut employer avec avantage l'épiscotistère d'Aubert. Cet instrument se compose de deux disques de cuivre superposés, dans chacun desquels sont

(1) *Abhandl. der Sächs. Ges. d. Wiss.*, VII, 416-463.

découpés quatre secteurs de 45° et que l'on peut déplacer l'un par rapport à l'autre de manière à laisser quatre fentes dont la largeur peut être modifiée à volonté entre 0° et 45°. Lorsqu'on fait tourner rapidement ces disques réunis, ils affectent l'aspect d'un verre gris, et ils agissent d'une manière analogue en affaiblissant la lumière ; le degré de cet affaiblissement est facile à déterminer avec exactitude (1).

Pour s'assurer que le mouvement de la pupille est sans influence sur ces résultats, on répéta l'expérience en mettant, devant l'œil découvert, une ouverture d'un diamètre inférieur à celui de la pupille. On peut, d'ailleurs, dans ces expériences, employer des ouvertures étroites pratiquées dans des papiers noirs, à la place des verres gris destinés à assombrir l'image.

On pourrait expliquer le résultat de cette expérience paradoxale en admettant que, dans certaines circonstances, la sensation lumineuse d'un œil puisse diminuer celle de l'autre, comme s'il existait une relation d'antagonisme entre les deux rétines ; mais j'ai pu démontrer, par une modification facile de l'expérience, qu'il s'agit ici de tout autre chose.

On se place en face d'un objet blanc bien nettement délimité, tel qu'une porte blanche située en face des fenêtres, et l'on choisit un verre foncé avec lequel l'expérience paradoxale réussisse bien lorsqu'on regarde cette porte. On place ensuite, devant l'œil armé du verre foncé, un papier blanc qui lui cache la porte et occupe tout le champ visuel de l'œil devant lequel on le place. En donnant à cette feuille de papier une obliquité plus ou moins grande par rapport à la lumière, on parvient facilement à lui donner une position telle qu'elle soit précisément aussi claire que la porte. Répétant alors l'expérience, on obtient un résultat tout à fait opposé au précédent. Si l'on ouvre l'œil placé derrière le verre foncé et le papier, le blanc de la porte augmente très-peu d'intensité par l'effet d'une espèce de nuage clair qui s'y superpose : c'est l'image du papier blanc qui coïncide binoculairement avec elle. Après avoir constaté qu'il en est ainsi, qu'on enlève le papier blanc en laissant les deux yeux ouverts, de sorte qu'ils voient tous deux la porte : elle paraît alors s'assombrir considérablement, bien que l'intensité des parties des deux champs visuels où on la voit n'ait aucunement varié (2).

(1) Aubert, Physiologie der Netzhaut, pp. 30, 34, 283. — Talbot avait construit un instrument analogue (voy. *Pogg. Ann.*, 1835, XXXV, 459).

(2) M. Hering a également observé que l'expérience donne des résultats différents suivant qu'on voit, avec l'œil obscurci, des surfaces limitées ou non. (Beiträge zur Physiologie, p. 311-312.)

Cette modification de l'expérience fait voir qu'il ne s'agit pas ici d'une modification dans la sensation de la lumière, mais seulement d'une modification de notre jugement sur la couleur propre à l'objet blanc. Lorsque l'un des champs visuels est rempli d'obscurité quand un œil est fermé, ou recouvert uniformément d'une lumière faible (image du papier blanc vu à travers le verre foncé), au lieu d'attribuer à la couleur de la porte cet éclairage uniforme et répandu bien au delà des limites qui répondent à la porte dans le champ visuel, nous formons notre jugement sur cette couleur exclusivement d'après ce que nous enseigne celui des yeux qui distingue les contours de la porte. C'est tout au plus si les modifications de l'éclairage dans l'autre œil se manifestent sous forme d'un brouillard sombre ou lumineux qui se répand devant la porte et devant les autres objets. Mais si nous reconnaissons également les contours de la porte avec l'œil assombri, et que nous les voyions dans le gris foncé, ce gris nous paraît faire partie de la couleur propre à la porte, tout aussi bien que le blanc de l'autre œil, et, pour cette raison, la porte elle-même nous paraît foncée. Elle nous apparaît alors comme un corps gris rendu lumineux et brillant par de la lumière blanche. Mais cet assombrissement doit évidemment faire défaut, soit lorsque l'assombrissement produit par le verre est très-faible, et qu'alors la lumière qui parvient au second œil ne se fait remarquer que comme lumière, soit lorsque cet assombrissement est assez marqué pour permettre à peine de distinguer les objets.

Des circonstances analogues peuvent également avoir lieu, à la vision monoculaire, dans l'expérience indiquée par Smith et par Brücke (1), et à laquelle Fechner a donné le nom d'*expérience de la fenêtre latérale*. J'ai trouvé qu'on peut donner à cette expérience une autre forme dans laquelle les conditions du résultat se voient encore plus sûrement que dans la première forme mentionnée. J'ai fait partager en deux parties égales une lame de verre d'urane, à surfaces parallèles. A la lumière des bougies, ce verre paraît absolument incolore, parce qu'il n'absorbe que les rayons violets et une partie des rayons bleus, qui sont très-peu abondants dans la lumière des bougies; pendant le jour, lorsque la substance même du verre n'est pas fortement éclairée, les objets blancs vus à travers paraissent faiblement jaunâtres. Mais si la masse du verre elle-même reçoit la lumière directe du soleil, toutes ses parties émettent une lumière fluorescente d'un vert intense. Si je mets devant les yeux deux pareilles lames de verre d'urane, abritées de façon à ne recevoir que la lumière venant de l'objet, et que je dispose

(1) Voyez plus haut, page 537.

les yeux de manière à voir double l'image d'un champ blanc sur fond noir, les deux images du champ blanc présentent naturellement la même coloration blanc jaunâtre. Mais dès que je laisse parvenir à l'un des verres les rayons directs du soleil, le champ visuel de l'œil qui est derrière ce verre se remplit de la lumière verte de la fluorescence; après quelques mouvements de l'œil, la double image correspondante du blanc, qui est encore recouverte de lumière verte, paraît rose, et la double image de l'autre œil paraît plus claire et verdâtre, bien qu'elle soit objectivement d'un blanc pur. Nous avons donc ici dans l'œil qui regarde à travers le verre fluorescent, lequel y répand uniformément de la lumière vert faible, une séparation si complète entre le blanc délimité et le vert répandu sans limites, qu'on voit même apparaître sur ce blanc la coloration rosée qui accompagne la fatigue de l'œil pour le vert. Par contraste avec cette coloration, l'autre image, qui n'est pas verte, paraît alors verdâtre.

Dans l'expérience primitive de Smith, ainsi que nous l'avons vu plus haut, c'était la lumière rouge pénétrant à travers les membranes de l'un des yeux qui faisait paraître l'image de cet œil plus foncée et verte, celle de l'autre œil prenant un aspect rouge. On peut faire apparaître cette lumière rouge, en examinant, avec l'œil éclairé latéralement, des caractères noirs sur fond blanc : ces caractères présentent souvent alors un aspect rouge éclatant. Il est naturel que, parmi les doubles images d'une tache noire sur fond blanc, celle qui appartient à l'œil éclairé latéralement paraisse également rougeâtre par comparaison avec celle de l'autre œil. Si l'on concentre, au contraire, à l'aide d'une lentille, de la lumière verte ou bleue sur un point de la sclérotique, celle des doubles images d'un objet blanc qui appartient à cet œil devient alors rose ou jaune. Comme on a mis en doute (1) l'explication de cette expérience, il n'était pas inutile de la modifier par l'emploi du verre d'urane, de manière à rendre plus faciles à saisir les différentes circonstances en présence.

On voit que le point de vue où nous nous sommes placés fournit facilement l'explication des phénomènes du contraste binoculaire. Si, au contraire, comme on le faisait habituellement, on veut attribuer les couleurs par contraste à des modifications de la sensation, que l'excitation d'une partie de la rétine produirait dans les parties voisines, on est nécessairement amené à considérer le contraste binoculaire comme résultant de l'action exercée par les sensations de l'une des rétines sur

(1) Fechner, Ueber den seitlichen Fenster- und Kerzenversuch, in *Berichte der Kön. Sächsischen Ges. d. Wiss.*, 1861, p. 27-56.

celles de l'autre ; aussi a-t-on cherché, dans ces phénomènes, un argument en faveur de la connexion anatomique des fibres nerveuses correspondantes.

Il faut encore mentionner ici l'explication du lustre stéréoscopique qui a été proposée par Dove, auquel on doit la découverte de ce phénomène. — Dove distingue, dans les corps brillants, la lumière blanche réfléchie par la surface et la lumière chromatique qu'émettent les couches superficielles. Le lustre provient, d'après lui, de ce qu'on voit la substance éclairée du corps en arrière de la surface éclairée, c'est-à-dire deux sortes de lumière l'une à travers l'autre. Il croit que, lorsque nous combinons deux couleurs, telles que du rouge dans un champ et du bleu dans l'autre, nous concluons qu'elles sont à des distances différentes de l'œil, parce qu'il nous faut des accommodations différentes pour les voir nettement. Je n'ai pas conservé cette explication, parce que les expériences qui ont été faites depuis lors sur l'appréciation des distances à l'aide de l'accommodation, et notamment dans un cas où il faut, comme ici, maintenir constante la convergence des yeux, rendent très-invraisemblable la possibilité d'une pareille perception de différence de distance des couleurs. Il y a encore une autre difficulté : c'est que la combinaison du blanc et du noir produit également du lustre. Dove croit pouvoir admettre ici que l'observation du blanc et du noir donne des sensations d'accommodation différentes, parce que le blanc contracte la pupille, ce qui arrive également pour un grand effort d'accommodation, tandis que le noir la dilate. Mais il faut remarquer d'abord que, dans les expériences qui nous occupent, on a en même temps du blanc dans un œil et du noir dans l'autre, et que les deux pupilles affectent alors le même degré moyen d'ouverture ; et, en second lieu, que l'accommodation ne peut pas s'appliquer au milieu d'une surface colorée uniformément, mais seulement aux contours ; on ne comprend pas comment il pourrait se produire une différence dans la conscience d'accommodation, parce que dans l'une des images il y aurait du blanc à droite et du noir à gauche de la limite, ou du blanc au-dessus et du noir au-dessous de la limite, et inversement dans l'autre image. C'est pour ces motifs que je me suis permis de substituer à l'explication proposée par le célèbre observateur qui a découvert ce phénomène, celle que j'ai donnée plus haut comme étant la plus simple.

L'antagonisme des champs visuels a attiré depuis longtemps l'attention des observateurs. Du Tour s'en servit pour appuyer son opinion, d'après laquelle on ne verrait en général qu'avec un œil à la fois, ce qui lui sert à expliquer pourquoi nous voyons simple, malgré la présence des deux yeux. De Haldat prétendit, au contraire, avoir vu les couleurs se combiner : observation qu'il rattache à l'hypothèse de la connexion anatomique des fibres nerveuses correspondantes proposée par Newton, et, plus tard, par Wollaston et par J. Müller. Il fut suivi par Mönnich, par Janin et par Walther. Cependant J. Müller lui-même, qui est le principal promoteur de la théorie de l'identité des points rétiniens et de l'étude des conséquences de cette théorie, lui qui aurait certainement été plus intéressé que personne à voir la combinaison binoculaire des couleurs, ne parle de rien de pareil, et n'a vu que la lutte des champs visuels. On a déjà vu plus haut les diverses assertions des observateurs plus récents. Il paraît exister, sous ce rapport, de très-grandes différences individuelles. Tant que l'on considérait la sensation d'une couleur résultante comme un effet simple de deux causes combinées, une semblable sensation ne paraissait pouvoir se produire que dans une seule et même fibre nerveuse : aussi l'observation d'une combinaison binoculaire véritable de couleurs sem-

blait pouvoir fournir la preuve d'une fusion anatomique des sensations d'un couple de fibres nerveuses correspondantes ; d'autre part, cette combinaison devait être considérée comme nécessaire, dès qu'on admettait une pareille identité. Ainsi que je l'ai expliqué plus haut, ce point perd beaucoup de son importance en présence de la théorie des couleurs d'YOUNG.

DOVE fit faire à la science un progrès essentiel en découvrant la signification objective de la combinaison binoculaire des couleurs ou des intensités différentes dans le phénomène du lustre stéréoscopique. Ce fut J. J. OPPEL qui opposa la théorie plus simple, qui a été substituée plus haut à la théorie de DOVE, et à laquelle BREWSTER s'était rallié tout en paraissant la combattre, par suite, ce me semble, d'un malentendu. Sans connaître le travail de J. OPPEL, j'étais arrivé à la même manière de voir, et j'avais insisté sur l'importance de ce phénomène, relativement à la théorie des sensations des parties correspondantes.

Les phénomènes du contraste binoculaire n'ont été étudiés que dans ces dernières années, notamment par FECHNER, dans un travail très-étendu ; quelques observations qui s'y rattachent avaient été faites antérieurement par E. BRÜCKE, par H. MEYER et par PANUM.

1743. DU TOUR, in *Mém. de Paris*, 1743, p. 334.
1760. DU TOUR, Pourquoi un objet sur lequel nous fixons les yeux paraît-il unique? in *Mém. des savants étr.*, III.
1772. JANIN, Mémoires et observations sur l'œil. Lyon et Paris, p. 39. — *Deutsch. Abhandl.* : Ueber das Auge und seine Krankheiten. Berlin, 1776, p. 38.
1784. J. ELLIOT, Anfangsgründe derjenigen Theile der Naturlehre, welche mit der Arzneiwissenschaft in Verbindung stehen. Uebersetzt von BERTRAM. Leipzig, 1784.
1791. W. C. WELLS, Essay upon single vision with two eyes. London.
— MÖNNICH, Untersuchung der Frage, ob man mit beiden Augen zugleich und gleich deutlich sehe, in *Deutsche Abhandl. d. Berl. Akad.*, 1790-91, p. 46.
1793. WALTHER, Von der Einsaugung und Durchkreuzung der Sehnerven. Berlin, 1794. — *Deutsche Abhandl. d. Berl. Akad.*, 1793, p. 3.
1799. L. A. v. ARNIM, Ueber scheinbare Verdoppelung der Gegenstände für das Auge, in *Gilbert's Ann.*, III, p. 256.
1806. CH. N. A. HALDAT DU LYS, Sur la double vision, in *Journ. de physique*, LXIII, p. 387.
1814. ACKERMANN und HERHOLT, Sieht der Mensch mit einem Auge allein oder mit beiden zugleich. Kopenhagen.
1826. J. MÜLLER, Beiträge zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns. Leipzig, p. 191-194.
1836. A. W. VOLKMANN, Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichts. Leipzig, p. 97-99.
1838. WHEATSTONE, Contributions to the physiology of vision, in *Phil. Trans.*, 1838, II, p. 386-387.
— VÖLCKERS, in *J. Müller's Archiv für Anat. und Physiol.*, 1838, pp. 61, 63.
1841. DOVE, in *Monatsber. d. Berl. Akad.*, 1841, p. 251.
1846. A. SEEBECK, Beiträge zur Physiologie des Gehör- und Gesichtssinns, in *Pogg. Ann.*, LXVIII, 449.
1848. E. HARLESS, Physiologische Beobachtung und Experiment. Nürnberg, 1848, p. 45.
1849. FOUCAULT et REGNAULT, Note sur quelques phénomènes de la vision au moyen des deux yeux, in *Comptes rendus*, XXXVIII, 78. — *Phil. Mag.*, XXXIV, 269. — *Inst.*, XVII, n° 783.
— DE HALDAT. Optique oculaire. Nancy. — *Arch. des sc. phys. et nat.*, XII, 45. — *Inst.* XVII, n° 786, p. 29.
1850. H. W. DOVE, Ueber die Ursache des Glanzes und der Irradiation, abgeleitet aus chromatischen Versuchen mit dem Stereoskop, in *Pogg. Ann.*, LXXXIII, 169. — *Berl. Monastber.*, 1851, p. 252. — *Phil. Mag.*, 4, IV, 241. — *Arch. des sc. phys. et natur.*, XXI, 209. — *Inst.*, n° 991, p. 421.
— H. W. DOVE, Ueber das Binocularsehen prismatischer Farben und eine neue stereoskopische Methode, in *Pogg. Ann.*, LXXX, 446. — *Berl. Monatsb.*, 1850, p. 152. — *Arch. des sc. phys. et natur.*, XIX, 219.
— H. MEYER, Ueber einen optischen Versuch, in *Wiener Ber.*, VII, 454. — *Arch. des sc. phys. et natur.*, XIX, 138.
1852. D. BREWSTER, Examination of DOVE's Theory of lustre, in *Athen.*, 1852, p. 1041. — *Cosmos*, I, 577-578. — *Silliman's Journ.*, 2, XV, 125.

1852. H. WELCKER, Ueber Irradiation und einige andere Erscheinungen des Sehens. Giessen, p. 107.
1853. E. BRÜCKE, Ueber die Wirkung complementär gefärbter Gläser beim binoculären Sehen, in *Wiener Ber.*, XI, 213-216. — *Pogg. Ann.*, XC, 606-609.
1854. F. BURCKHARDT, Ueber Binocularsehen, in *Verhdl. d. naturforsch. Ges. in Basel*, I, 123-154.
— J. J. OPPEL, Ueber die Entstehung des Glanzes bei zweifarbigen, insbesondere bei schwarzen und weissen stereoskopischen Bildern, in *Jahresber. d. Frankf. Vereins*, 1853-54, p. 52-55; 1854-55, p. 33-37.
— F. BURCKHARDT, Zur Irradiation, in *Verh. d. naturf. Ges. in Basel*, I, 154-157.
1855. D. BREWSTER, On the binocular vision of surfaces of different colours, in *Athen.*, 1855, p. 1120. —*Inst.*, 1855, p. 375. — *Rep. of Brit. Assoc.*, 1855, 2, p. 9.
— W. DOVE, Ueber die von ihm gegebene Erklärung des Glanzes, in *Berl. Monatsber.*, 1855, p. 691-694. — *Inst.*, 1856, p. 118-119.
1856. H. HELMHOLTZ, Ueber die Erklärung der stereoskopischen Erscheinung des Glanzes, in *Verhandl. d. naturhist. Vereins d. Rheinlande*, p. XXXVIII-XL.
— H. MEYER, Ueber die Einfluss der Aufmerksamkeit auf die Bildung des Gesichtsfeldes überhaupt und den Bildung des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes beider Augen im Besondern, in *Archiv für Ophtalmologie*, II, 2, p. 77-92.
1857. DOVE, Ueber Binocularsehen durch verschieden gefärbte Gläser, in *Berl. Monatsber.*, 1857, p. 208-211. —*Pogg. Ann.*, CI, 147-151.
— PAALZOW, Ueber subjective Farben und die Entstehung des Glanzes, in *Berl. Monatsber.*, 1857, p. 435.
1858. J. DINGLE, On a new law of binocular vision, in *Athen.*, 1858, II, 458.
— J. J. OPPEL. Ueber das "Glitzern", eine eigenthümliche Art des Glanzes und die stereoskopische Nachahmung desselben, in *Jahresber. d. Frankf. Vereins*, 1856-57, p. 56-62.
— P. L. PANUM, Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel, p. 38-42.
1860. TH. FECHNER, Ueber einige Verhältnisse des binocularen Sehens, in *Berichte d. sächs. Ges. d. Wiss.*, VII, 337-364.
— F. ZÖLLNER, Ueber eine neue Beziehung der Retina zu den Bewegungen der Iris, in *Pogg. Ann.*, CXI, 481-499 ; 660.
— H. W. DOVE, Optische Notizen, in *Pogg. Ann.*, CX, 286-288.
1861. E. BRÜCKE, Ueber den Metallglanz, in *Wiener Ber.*, XLIII, 2, p. 177-192.
— D. BREWSTER, On binocular lustre, in *Athen.*, 1861, 2, p. 411. — *Rep. of Brit. Assoc.*, 1861, 2, p. 29-31.
— O. N. ROOD, Upon some experiments connected with DOVE'S Theory of lustre, in *Silliman's Journ.*, 2, XXXI, p. 339-345. — *Phil. Mag.*, 4, XXII, 38-45.
— H. W. DOVE, Ueber den Glanz, in *Berl. Monatsber.*, 1861, p. 522-525. — *Pogg. Ann.*, CXIV, 165-168.
— P. L. PANUM, Ueber die einheitliche Verschmelzung verschiedenartiger Netzhauteindrücke beim Sehen mit zwei Augen, in *Reichert's und du Bois Archiv für Anat. und Physiol.*, 63-227.
1862. W. WUNDT, Ueber die Entstehung des Glanzes, in *Pogg. Ann.*, CXVI, 627-631.
— O. N. ROOD, On some stereoscopic experiments, in *Silliman's Journ.*, 2, XXXIV, 199-202.
— G. TH. FECHNER, Ueber den seitlichen Fenster- und Kerzenversuch, in *Leipz. Ber.*, 1862, p. 27-56.
— W. WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. Leipzig und Heidelberg, p. 299-375.
1864. E. HERING, Beiträge zur Physiologie, 5 Heft. Leipzig, p. 312-316.
1865. E. JAVAL, De la neutralisation dans l'acte de la vision, in *Ann. d'oculistique*, LIV, p. 5-16.

§ 33. — Critique des théories.

Après avoir passé en revue l'ensemble des faits que présente l'étude des perceptions visuelles, je crois qu'il n'est pas inutile de jeter un dernier coup d'œil sur la liaison des idées théoriques, et d'examiner

quelles sont les théories qui paraissent bien rendre compte des faits, et quelles sont celles qui présentent avec eux un accord moins satisfaisant.

Il faut remarquer d'abord que la connaissance que nous avons des phénomènes dont il s'agit n'est pas encore assez complète pour permettre de considérer l'une des théories comme admissible à l'exclusion de toutes les autres. Je crois que jusqu'ici, dans le choix qu'ils ont eu à faire entre les différentes opinions, les auteurs se sont plutôt laissé influencer chacun par la tendance métaphysique de son esprit que par l'autorité des faits ; et, dans le domaine de la psychologie, bien des questions de principe sont encore pendantes, qui sont depuis longtemps résolues dans celui des phénomènes de la nature inorganique.

Bien des observateurs se sont laissés aller trop facilement, ce me semble, dans l'étude des perceptions visuelles, à imaginer diverses structures anatomiques, à admettre de nouvelles qualités de la substance nerveuse qui n'ont aucun rapport avec ce que nous savons positivement des propriétés physiques et chimiques des corps en général ou des nerfs en particulier. Ces structures et ces propriétés ne servent, à chaque fois, qu'à donner, pour un ou plusieurs des phénomènes de la vision, des explications qui ont tout au plus une apparence de rigueur scientifique, et dont les auteurs ont négligé complétement ou mis sur le second plan la participation si indubitable des phénomènes psychiques.

J'accorde que nous sommes bien loin de connaître les phénomènes psychiques d'une manière rigoureusement exacte. Chacun peut, suivant la tendance spéculative à laquelle il accorde la préférence, nier absolument, comme les spiritualistes, ou admettre absolument, comme les matérialistes, la possibilité de pénétrer dans la nature de ces phénomènes. Mais le naturaliste, qui doit s'en tenir aux faits et à la recherche des lois qui les régissent, n'a pas à décider cette question. Il ne faut pas oublier que le matérialisme est une spéculation ou hypothèse métaphysique tout aussi bien que le spiritualisme; aussi lui refuserons-nous le droit de s'immiscer dans l'explication des faits naturels, avec des raisonnements *à priori*, sans s'appuyer sur des faits.

Quelque opinion que l'on professe sur les actions psychiques, et si difficile que puisse être leur explication, elles n'en possèdent pas moins une existence réelle et leurs lois nous sont familières jusqu'à un certain point, par les faits de l'expérience journalière. Quant à moi, je crois que c'est suivre une voie plus sûre que de rattacher l'explication des phénomènes de la vision à d'autres phénomènes, — qui réclament eux-mêmes une explication, mais dont l'existence est hors de doute : je veux parler des actions psychiques les plus simples, — que de la faire reposer sur des

hypothèses relatives à une disposition anatomique mais inconnue du système nerveux et aux propriétés de la substance nerveuse, hypothèses arbitraires, inventées *ad hoc*, et qui ne reposent sur aucune espèce d'analogie. Je ne me croirais le droit d'entrer dans une pareille voie qu'après avoir vu échouer toutes les tentatives d'explication appuyées sur les circonstances connues.

Mais cette nécessité ne s'impose nullement, à mon avis, dans l'explication psychologique des perceptions visuelles; loin de là, plus j'ai apporté d'attention à l'étude des phénomènes, plus j'ai constaté d'uniformité et d'accord dans l'action des processus psychiques, et plus j'ai trouvé de conséquence et de connexion dans toute cette classe de phénomènes.

Aussi n'ai-je pas hésité, dans les paragraphes précédents, pour établir une liaison et un accord entre les faits, à me servir d'explications fondées sur les actes psychiques les plus simples de l'association des idées. Ce point de vue n'est pas nouveau, comme je l'ai déjà dit dans les aperçus historiques. Si, dans ces derniers temps, les opinions de quelques physiciens et physiologistes qui sont entrés dans cette voie, comme Wheatstone, Volkmann, H. Meyer, Nagel, Classen et Wundt, ont trouvé plus de contradicteurs que d'adhérents, je crois qu'indépendamment de l'esprit du siècle, qui est peu enclin aux recherches philosophiques et psychologiques, cette opposition reconnaît pour cause l'absence d'une exposition suffisamment complète de tous les phénomènes de ce ressort. Des doutes, fondés sur ceux des phénomènes qu'ils n'avaient pas examinés, étaient opposés à chaque instant à l'explication des faits qui avaient été étudiés par les observateurs en question. C'est pourquoi j'ai profité de l'occasion qui m'était offerte pour remanier tout le sujet dans ce sens, et en donner un aperçu général.

Qu'on me permette de remettre, en peu de mots, sous les yeux du lecteur, les principes sur lesquels j'ai fondé mes explications. — La proposition fondamentale de la théorie empiristique, c'est que : *Les sensations sont, pour notre conscience, des signes dont l'interprétation est livrée à notre intelligence.* En ce qui concerne les signes fournis par la vision, ils diffèrent en *intensité* et en *qualité* (en couleur) ; de plus, ils doivent présenter une troisième différence dépendant de la partie qui est excitée sur la rétine, et qui porte le nom de *signe local.* Les signes locaux des sensations de l'œil droit sont généralement différents de ceux des points correspondants de l'œil gauche.

Nous sentons, en outre, le *degré d'innervation* que nous transmettons aux nerfs des muscles oculaires. Les notions d'étendue et de mou-

vement ne dérivent pas nécessairement des perceptions visuelles, ou tout au moins elles n'en dérivent pas uniquement, puisque les aveugles-nés les acquièrent avec une exactitude parfaite par le sens du toucher ; nous pouvons donc, pour notre objet, les considérer comme données préalablement.

L'expérience peut évidemment nous apprendre quelles sont les sensations de la vue ou des autres sens que nous donnera un corps que nous voyons, lorsque nous déplacerons nos yeux ou notre corps, ou que nous l'examinerons de différents côtés, que nous le tâterons, etc. L'ensemble de toutes les sensations possibles, réunies dans une idée complexe, constitue la *représentation* que nous nous faisons du corps et que nous nommons *perception* aussi longtemps qu'elle est appuyée par des sensations actuelles, et *image de souvenir*, dans le cas contraire. Ainsi, dans un certain sens, bien que ce soit en désaccord avec le langage usuel, une semblable représentation d'un objet individuel est déjà une notion, parce qu'elle contient les divers groupes de sensations que peut nous donner cet objet regardé, touché ou examiné par tout autre moyen, et en nous déplaçant. Telle est la teneur effective et réelle d'une semblable représentation d'un objet déterminé ; elle ne peut pas en avoir d'autre, et cet ensemble peut indubitablement être acquis par l'expérience, à l'aide des données indiquées plus haut.

Le seul acte psychique qui soit nécessaire à cet effet, c'est la répétition régulière de l'association de deux représentations qui se sont souvent trouvées associées ensemble, et cette association s'impose avec d'autant plus de force et de nécessité qu'elle s'est offerte à nous plus souvent.

Ainsi, en tant qu'elles sont exactes, les représentations que nous nous formons des objets à l'aide des images visuelles s'expliquent simplement par les principes que nous avons posés.

Mais on doit se demander alors comment peuvent se produire les *illusions des sens*. Il nous faut diviser ces illusions en deux classes. — D'abord, celles qui se produisent lorsque nos sens sont soumis à l'action de causes insolites ; lorsque nous regardons, par exemple, des images dioptriques ou catoptriques, ou que nous combinons des images stéréoscopiques. Ici, l'impression exercée par des objets déterminés se produit dans des conditions insolites. Bien que nous sachions qu'il en est ainsi, d'après la loi de l'association des représentations, l'impression reçue réveille en nous la représentation des autres impressions sensuelles qui l'accompagnent en général, c'est-à-dire la représentation de l'objet correspondant.

Les illusions de la seconde classe sont celles où nous voyons d'une

manière erronée des objets réels, en nous servant de nos organes sensuels d'une façon inaccoutumée. Pour leur explication, il faut remarquer que, du moment qu'un certain mode d'usage de nos organes sensuels est plus approprié que tout autre à nous donner des perceptions nettes et certaines des objets, nous nous habituons à nous servir le plus possible ou exclusivement de ce mode d'emploi, que nous appelons *normal.* Si nous appliquons nos organes sensuels d'une façon différente, il est naturel que les impressions reçues nous donnent les représentations d'objets qui, dans l'usage normal des organes, exerceraient les mêmes impressions ou les impressions qui s'en écartent le moins.

Dans l'usage normal des yeux, il faut considérer : *en premier lieu*, que dans chaque œil, la fossette centrale de la rétine permet la distinction la plus nette entre des images voisines l'une de l'autre ; *en second lieu*, que nous ne conservons des impressions nettes qu'en évitant, par des mouvements continuels des yeux, la formation d'images accidentelles nettement dessinées; *en troisième lieu*, que, sur une surface étendue, éclairée uniformément, nous avons vu distinctement tout ce qu'il est possible d'y voir ainsi, dès que nous avons vu nettement toutes les parties du contour. Il résulte de là que, dans l'usage normal des yeux, nous dirigeons à chaque instant les deux lignes de regard sur le point qui attire notre attention, et que nous accommodons les yeux pour ce point; cependant nous ne les laissons jamais longtemps en repos, ce qui serait en désaccord avec la tendance de mouvement particulière à notre attention, et nous promenons, au contraire, constamment notre regard, surtout le long des contours des objets.

De là résulte l'accord qui s'est produit entre les mouvements des deux yeux, et entre ces mouvements et l'accommodation ; habitude à laquelle il est difficile de résister, et que nous pouvons cependant vaincre à chaque instant par un effort de volonté, comme on l'a vu plus haut, lorsque nous mettons graduellement les yeux dans des conditions où le but de la vision ne peut plus être atteint qu'à l'aide de combinaisons insolites. Il en résulte encore la difficulté de maintenir, contrairement à notre habitude, le regard fixé pendant quelque temps sur un point; de là provient aussi la grande influence exercée par les contours saillants sur notre attention et sur les mouvements de notre regard; c'est à la même cause qu'il faut attribuer la difficulté de concentrer notre attention sur une analyse exacte des phénomènes de la vision indirecte, de la tache jaune, des images doubles, et ainsi de suite, l'habitude nous entraînant toujours à diriger le regard vers les parties qui occupent notre attention. C'est pour cette même raison qu'à cause des mouve-

ments que l'habitude fait faire à nos yeux, nous ne voyons ordinairement pas les images doubles les plus écartées des objets que nous observons, et que la présence de ces images reste inconnue à un grand nombre de personnes pendant toute leur vie.

J'ai déjà fait voir plus haut que la relation entre les torsions des deux yeux et la direction des lignes visuelles doit être rangée dans la même catégorie, et qu'on peut même, en modifiant les conditions de la vision, entraîner la production des modifications de la torsion qui sont favorables à la perception des objets. J'ai cherché, en outre, à démontrer que la certitude d'orientation, qui nous permet de reconnaître la position invariable des objets immobiles malgré le déplacement de leurs images sur la rétine, est le but dont nous cherchons à nous rapprocher le plus possible en conformant les mouvements de nos yeux aux exigences de la loi de Listing.

Puisque les efforts volontaires peuvent, lorsqu'il en résulte un avantage pour la vision, donner lieu à des mouvements qui cessent d'être soumis à ces différentes lois, il est clair qu'on ne peut pas rechercher la base de ces lois dans des dispositions anatomiques qui agiraient mécaniquement. D'un autre côté, il me paraît possible, et même probable, que la croissance des muscles et peut-être même la conductibilité des nerfs s'adaptent aux effets demandés, soit dans le cours de chaque existence individuelle, soit même par hérédité dans la vie de l'espèce, de telle sorte que les mouvements les plus utiles deviennent aussi les plus faciles. En tout cas, ce mécanisme anatomique, en tant qu'il existe, facilite les mouvements, mais ne les commande pas.

Les mouvements des yeux permettent encore d'apprendre quelle est la disposition des points du champ de la vision, c'est-à-dire d'apprendre quels sont les signes locaux des sensations qui répondent aux points immédiatement voisins. La loi spéciale des mouvements oculaires détermine ensuite quelles sont les étendues du champ visuel dont il est possible ou non de comparer exactement les grandeurs. On peut comparer exactement celles dont les images peuvent être amenées sur les mêmes points ou lignes de la rétine par de simples mouvements de l'œil ; c'est là une règle qui est tout à fait confirmée par les faits. Mais dans la comparaison des grandeurs qui ne peuvent pas être représentées sur les mêmes parties de la rétine, il se présente toujours des erreurs soit constantes, soit variables. On peut en partie rapporter les erreurs constantes à ce fait que (au moins pendant notre enfance, où se développe en nous la faculté de juger les objets par la vision), nos objets visuels les plus fréquents sont les corps éloignés et le sol qui s'étend depuis nos pieds jusqu'à eux ; je veux parler de l'aberration

des méridiens verticaux apparents et de la manière erronée dont on dessine des carrés.

Enfin, l'influence de la loi des mouvements oculaires se manifeste encore dans le tracé des lignes droites (ou les plus courtes) apparentes du champ de vision. Si nous plaçons la ligne de regard dans sa position primaire, que nous pouvons considérer comme sa position la plus fréquente et la plus importante, ce sont les lignes qui peuvent se déplacer suivant elles-mêmes d'après la loi des mouvements oculaires.

Je n'ai fondé la déduction de ces lois sur aucune hypothèse déterminée relativement à la nature des signes locaux. Elle subsisterait encore, alors même que les signes locaux seraient disséminés tout à fait au hasard sur la rétine, sans qu'il soit nécessaire d'admettre aucune analogie entre les signes locaux de points voisins. Une pareille disposition rendrait, il est vrai, l'accoutumance bien plus difficile. Aussi considéré-je comme tout à fait probable, et cette hypothèse est conforme à l'analogie d'autres dispositions organiques, que les signes locaux de points voisins se ressemblent plus que ceux de points éloignés, et que, par suite, la nature des signes locaux soit une fonction continue des coordonnées des points rétiniens. Cependant, quels que soient ces signes locaux, leur disposition peut être de nature à faciliter beaucoup l'orientation ; mais ici encore les conséquences de la théorie empiristique, avec lesquelles les phénomènes s'accordent parfaitement, exigent seulement que la disposition, quelle qu'elle soit, donne une facilité à la production de l'évaluation oculaire, sans être décisive pour ses résultats définitifs.

Parmi ces dispositions anatomiques, il faut ranger le nombre d'éléments sensibles situés entre deux points de la rétine. — Particulièrement lors de l'appréciation de distances très-petites, ce nombre peut présenter de l'importance, d'après cette loi qu'en l'absence d'autres éléments adjuvants, les grandeurs nettement perceptibles nous paraissent plus grandes que celles dont l'appréciation est incertaine. Nous avons déjà montré plus haut que le nombre des éléments sensibles est tout à fait sans influence dans l'appréciation des grandes distances.

Pour la théorie empiristique, la forme de la rétine, la position et la régularité de l'image, pourvu que celle-ci soit nettement limitée, sont choses absolument indifférentes ; cette théorie ne s'inquiète que de la projection de la rétine en dehors par les milieux optiques.

La position que présentent les objets, par rapport à notre corps, est appréciée à l'aide du *sentiment d'innervation* des nerfs oculaires, mais elle est *contrôlée* à chaque instant d'après le résultat, c'est-à-dire d'après le déplacement que les innervations impriment aux images.

Quand, regardant à travers des prismes, nous exécutons des mouvements avec notre corps ou si nous déplaçons nos mains dans le champ de la vision, nous apprenons bientôt à voir juste, malgré la déviation que le prisme fait subir aux rayons incidents. Les phénomènes du vertige de mouvement nous donnent également un exemple de modifications dans l'appréciation de l'effet de certaines innervations.

Nous apprécions avec moins de certitude le degré *absolu* de la convergence que les mouvements correspondants des deux yeux; c'est peut-être parce que la convergence peut provoquer un état de fatigue plus persistant, qui ne peut pas être équilibré par la fatigue de la divergence; tandis qu'il n'arrive guère qu'on dirige longtemps les yeux à droite sans les tourner de temps à autre à gauche, de sorte que la fatigue se répartit alors uniformément sur les muscles antagonistes.

C'est en partie pour ce motif, — et en partie aussi parce que nous négligeons systématiquement les éléments subjectifs de nos sensations et que, par conséquent, dans la fixation d'un objet rapproché, nous ne considérons la somme totale des impressions visuelles et des sentiments d'innervation que comme des signes sensuels d'un objet situé dans cette position, sans analyser quelles sont les sensations attribuables à tel ou tel œil, ni quelle est la position de l'un ou de l'autre, — que nous apprécions la position des objets par rapport à nous d'après la *position moyenne commune* des deux yeux, alors même que l'objet est vu monoculairement. Ceci est conforme à la règle d'après laquelle nous apprécions les impressions reçues dans l'usage anormal des organes (vision monoculaire), d'après l'analogie qu'elles ont avec celles obtenues dans la vision ordinaire (vision binoculaire); de là la règle trouvée par J. Towne et par E. Hering pour la projection extérieure des images visuelles, avec les modifications que j'ai dû lui faire subir pour les torsions qui ont lieu lors des positions obliques des lignes de regard.

Nous arrivons maintenant à la vision *binoculaire*. Tant que nous sommes dans le domaine objectif, que nous regardons des objets ou des images stéréoscopiques, les phénomènes s'expliquent d'une manière simple et se comprennent facilement d'après la théorie empiristique; de plus, si ce n'est dans quelques travaux récents, l'influence de l'expérience, dans les faits de ce ressort, a été le plus souvent reconnue par les adhérents de la théorie nativistique. Les illusions qui se présentent ici s'expliquent par l'incertitude avec laquelle nous apprécions la convergence. Lorsque les yeux reçoivent des images telles que les objets réels ne pourraient les leur fournir que par un degré déterminé de convergence, nous les interprétons en conséquence, alors même que

le degré de convergence produit serait autre. Ajoutons encore que l'incertitude de la convergence nous empêche d'apprécier sûrement les différences de torsion que présentent les yeux convergents lorsqu'on élève ou qu'on abaisse le plan de regard. Aussi, lorsque des déviations observables dans les lignes des images ne manifestent pas la présence de la torsion, nous jugeons comme s'il n'y en avait pas, et c'est alors que nous subissons les illusions décrites par Recklinghausen et par Hering.

Mais si, en conservant toujours le même point de fixation, nous portons notre attention sur la disposition superficielle des objets dans le champ de la vision, chaque œil voit une disposition différente, et les deux images ne peuvent coïncider complétement; donc s'il y a quelques points qui coïncident, d'autres doivent être disparates et apparaître en deux parties différentes du champ visuel commun, c'est-à-dire être vus doubles. On a nommé *points identiques* ou *correspondants*, les points rétiniens, et respectivement des points des deux champs visuels, dont les images coïncident dans le champ commun de la vision.

Quant à la nature des points correspondants, les faits nous ont appris avec certitude que :

1° En général, les images des points correspondants se localisent sur la même partie, celle des points non correspondants, sur des parties différentes du champ commun de la vision ; cependant les deux parties de cette règle sont sujettes à de petits écarts, lorsque nous réunissons les deux images dans la notion d'un objet solide.

2° Les sensations produites par l'excitation de points rétiniens correspondants ne sont pas identiques, mais différentes. C'est la conclusion nécessaire du fait d'après lequel nous obtenons le relief exact d'un dessin linéaire stéréoscopique, même à la lumière de l'étincelle électrique. Si les sensations des points correspondants étaient absolument impossibles à distinguer l'une de l'autre, le relief renversé devrait se présenter tout aussi souvent et aussi facilement (1). — Nous arrivons à cette même conclusion en nous fondant sur ce que deux images stéréoscopiques correspondantes et qui présentent une différence d'intensité ou de coloration, produisent une notion que n'accompagne jamais l'observation de deux images colorées de la même manière : je veux parler du lustre stéréoscopique. Les mouvements de l'œil et l'antagonisme

(1) DONDERS (Anomalies of accommodation and refraction, London, 1864, p. 162 et 166) indique que, lorsque l'œil est immobile, l'image pseudoscopique remplace souvent l'image stéréoscopique. Mais il a obtenu, à peu de chose près, les mêmes résultats qu'AUBERT et que moi, dans un article qui vient de paraître, in *Nederlandsch Archief* (1866), où il a pris des précautions analogues à celles indiquées plus haut (page 935).

des champs visuels n'ont ici aucune influence ; c'est ce que démontre en particulier l'observation de ces images à la lueur de l'étincelle électrique.

3° Sous l'influence de la direction anormale de leurs yeux, le rapport de correspondance des deux rétines peut se modifier à la longue chez les strabiques.

Je conclus de là que toute hypothèse anatomique qui admet une fusion complète entre les sensations des deux côtés, en supposant, par exemple, que les fibres venant de parties rétiniennes correspondantes se réunissent deux à deux en fibres qui transmettraient chacune au cerveau une sensation unique, doit être abandonnée comme étant en désaccord avec les faits. C'est tout au plus s'il serait possible d'admettre une hypothèse d'après laquelle les deux impressions parviendraient au cerveau en partie séparées et en partie réunies en une seule. Par exemple, la fibre A de l'œil droit se diviserait en deux fibres a et α ; la fibre correspondante B donnerait b et β ; tandis que a et b parviendraient séparément dans l'organe central de la vision et produiraient des impressions différentes, α et β se réuniraient pour former une troisième impression, commune aux deux fibres.

L'hypothèse ainsi modifiée me paraîtrait possible ; mais elle ne me semble ni probable ni nécessaire. En effet, les raisonnements établis jusqu'ici nous donnent, à ce qu'il me semble, une explication tout à fait satisfaisante, sans nécessiter une semblable hypothèse. Dans la vision normale, les lignes de regard sont toujours dirigées sur le même point objectif auquel nous accordons en même temps notre attention ; toutes les autres parties des rétines présentent des impressions qui sont tantôt pareilles, tantôt différentes ; aussi, avant toute chose, c'est la localisation des impressions des fossettes rétiniennes qui devient concordante. Mais lorsqu'un état morbide des muscles nous empêche de produire la direction nécessaire des yeux et rend habituelle une autre position, alors encore l'habitude détermine le point de chaque rétine qui correspond avec la *fovea* de l'autre.

L'identité des méridiens se détermine d'après la fréquence avec laquelle s'y représentent des séries de points identiques. C'est ce qui a lieu d'abord sur les horizons rétiniens, dans la position primaire du plan de regard, que nous pouvons considérer comme la position moyenne et la plus habituelle de ce plan. Ensuite, pour un grand nombre d'yeux normaux, les lignes du sol qui se dirigent vers l'horizon paraissent exercer une influence décisive sur la position des méridiens verticaux correspondants.

Une fois que ces deux couples de méridiens correspondants sont

déterminés, les autres mensurations des champs visuels et, par suite, la position des points qui y sont congruents, peuvent se déterminer complétement, ainsi qu'il a été expliqué plus haut, à l'aide des mouvements des yeux.

Si la comparaison des dimensions dans les deux champs visuels et la position des points congruents sont des résultats de perfectionnement de l'estimation oculaire, il peut se produire de *petites erreurs* de cette estimation, lorsque la notion d'un corps unique, auquel se rapportent les deux images, s'impose fortement à nous. Quand les doubles images présentent, au contraire, des écartements très-sensibles, une interprétation plus ou moins exacte de leur signification est conciliable avec leur perception séparée dans le champ de la vision. Tout ce qui rend difficile la fusion des images doubles en la notion d'un corps unique, tout ce qui facilite la comparaison de leur position dans le champ de la vision, l'habitude de les observer et le soin d'éviter les mouvements des yeux, tout cela contribue à rendre ces images plus facilement visibles. Suivant la direction de l'attention, on peut voir ou ne pas voir celles qui se trouvent sur les limites de la perceptibilité, même à l'éclairage de l'étincelle électrique, qui élimine toute influence des mouvements des yeux. Toutes ces circonstances s'accordent parfaitement avec notre explication et peuvent en être déduites.

Enfin, les phénomènes de l'*antagonisme* dépendent de cette particularité de notre conscience d'après laquelle nous ne pouvons accueillir à la fois qu'une seule impression ou qu'un agrégat d'impressions susceptibles de se réunir en une seule représentation. L'expérience journalière en fait foi ; de plus, cette particularité se manifeste très-nettement dans l'intervalle de temps qui sépare les perceptions de la vision de celles de l'ouïe, et qui, lors de l'observation du passage des étoiles, donne lieu à l'*erreur personnelle* des astronomes ; elle se reconnaît aussi au petit nombre d'objets que l'on peut percevoir à la lumière de l'étincelle électrique et pendant la courte durée de son effet consécutif. La fusion des impressions des deux champs visuels se présente à nous sous forme de relief. Lorsque cette combinaison est empêchée par la nature des deux images, on voit se manifester l'oscillation de l'attention, caractéristique de la lutte des champs visuels, dès que l'attention n'est pas retenue par des contours nettement dessinés dans l'un des champs. J'ai décrit plus haut les méthodes à l'aide desquelles on parvient à fixer l'attention sur l'un des champs, ce qui supprime l'oscillation. Ce moyen est particulièrement propre à démontrer que cette lutte est seulement un phénomène de l'attention.

D'après l'exposé qu'on vient de lire, on voit que nous n'avons à tenir

compte, parmi les processus psychiques, que des associations involontaires des représentations, actes qui ne sont pas sous la domination directe de notre conscience et de notre volonté ; avec cette réserve, cependant, que nous pouvons en influencer la marche en leur opposant des représentations et des buts dont nous avons conscience. C'est précisément pour cette raison que les résultats de cette production des représentations s'offrent à nous comme imposés par une puissance que nous ne pouvons pas dominer, ou seulement pour une faible part, et qui se présente, par conséquent, à notre volonté et à notre conscience, comme une *force naturelle* étrangère à nous, ou objective, absolument comme les sensations qui nous arrivent immédiatement du monde extérieur. Ainsi, parmi les résultats de processus psychiques, tout ce qui s'associe avec les sensations nous paraît donné par des influences extérieures tout aussi bien que la sensation, et ne nous offre pas les caractères d'un résultat de la réflexion consciente et libre ou d'une vue de notre esprit. Sous ce rapport, l'opinion empiristique a souvent été mal comprise, par ses adhérents aussi bien que par ses adversaires : c'est là mon excuse pour avoir insisté de nouveau sur ce point. Si l'on ne veut pas ranger ces processus de l'association d'idées et du cours naturel des représentations parmi les actes psychiques, mais les attribuer à la substance nerveuse, c'est une querelle de mots dans laquelle je ne m'engagerai pas. On pourrait concilier peut-être ici la théorie empiristique avec la forme que Panum, par exemple, a donnée à la théorie nativistique, avec cette différence que Panum considère comme donné par la nature ce qui me paraît acquis par l'expérience.

En ce qui concerne les différentes *théories nativistiques*, leur point fondamental c'est qu'elles attribuent la localisation des impressions dans le champ visuel à une disposition innée, soit que l'âme ait une connaissance directe des dimensions de la rétine, soit que l'excitation de fibres nerveuses déterminées donne lieu à certaines représentations d'espace par un mécanisme préétabli et impossible à définir avec plus de précision. C'est surtout J. Müller qui a développé cette théorie sous la première forme. Il dit (1) : « L'idée d'espace ne peut pas être un produit » d'éducation ; au contraire, la notion de l'espace et du temps sont » nécessaires, et toutes les sensations se soumettent nécessairement à » ces notions : aucune sensation ne peut exister en dehors de la notion » d'espace et de temps. Mais quant à ce qui remplit l'espace, nous ne » *sentons* rien autre que nous-mêmes dans l'espace, quand nous parlons

(1) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns, p. 54 et seq.

» de sensation ou de sens; le jugement ne nous fait distinguer, dans
» l'espace rempli objectivement, que les parties de nous-même qui sont
» dans l'état d'affection, sensation qui est accompagnée de la con-
» science de cause extérieure de l'excitation. Dans chaque champ visuel,
» la rétine voit sa propre étendue à l'état d'affection; lorsque nous
» gardons le repos le plus absolu et que les yeux sont fermés, elle se
» perçoit à l'état obscur dans l'espace. »

Cette théorie, en admettant que la localisation spéciale de chaque impression est donnée par une intuition immédiate, est donc une extension de l'opinion de Kant, d'après laquelle l'espace et le temps sont des formes préexistantes de nos notions. La plupart des physiologistes allemands se rangèrent à cette opinion de Müller, et ils fondèrent bien des explications des phénomènes visuels sur les particularités de la forme des images rétiniennes. C'est ainsi que Recklinghausen (1) a essayé d'expliquer l'aberration des angles droits apparents, en supposant que la surface de la rétine est située obliquement par rapport à la ligne visuelle de l'œil, ce qui expliquerait comment les images optiques d'un angle droit pourraient être obliques dans l'image rétinienne. Suivant cette manière de voir, la nature des images rétiniennes pourrait donc être perçue immédiatement. E. Hering (2) et A. Kundt (3) ont été jusqu'à admettre que l'âme voyait directement les distances de deux points rétiniens, non pas suivant l'arc rétinien, mais suivant la corde, et ils voulurent déduire de cette hypothèse l'explication des illusions, décrites plus haut, que présente la localisation monoculaire dans le champ de la vision. Mais nous avons déjà fait voir que cette hypothèse ne suffit nullement pour rendre compte des phénomènes mêmes pour l'explication desquels elle a été inventée.

L'hypothèse des théories nativistiques est, en définitive, une renonciation à toute explication des phénomènes de localisation, une manière de clore toutes les discussions. Peut-on blâmer J. Müller, — qui écrivait à une époque où l'on n'avait encore aucune observation sur les lois des mouvements des yeux, et où un essai de les faire servir à une explication de la localisation n'aurait pu conduire qu'à des conclusions très-vagues, — de n'avoir pas été disposé à pousser plus loin ses essais d'explication? Je me suis déjà efforcé de faire voir plus haut que les principaux faits de l'estimation oculaire, que la théorie nativistique ne s'occupe pas d'expliquer, peuvent également être déduits de la loi des

(1) Netzhautfunctionen, in *Archiv für Ophthalm.*, V, 2, p. 128-141.
(2) Beiträge zur Physiologie, Heft 1, p. 65-80.
(3) *Pogg. Ann.*, 1863, CXX, 118-158.

mouvements oculaires, telle que nous la connaissons dans ses traits généraux.

Comme conséquence nécessaire, l'opinion qui considère la localisation des impressions dans le champ visuel comme innée, conduit à admettre aussi une notion préétablie des points des rétines qui donnent deux à deux la même localisation, c'est-à-dire qui sont *correspondants* et auxquels la théorie nativistique a donné le nom de *points identiques.* Mais c'est ici que la théorie de l'identité innée et anatomique, qui doit être considérée comme conséquence nécessaire de la théorie nativistique, vient se heurter aux difficultés fondamentales signalées plus haut; nous sommes donc sur le terrain qui a toujours été le grand champ de bataille des deux théories.

En effet, l'observation directe des corps naturels suffisait pour le prouver, et l'invention du stéréoscope par Wheatstone l'a montré mieux encore : nous sommes loin de voir toujours des images doubles partout où l'on devrait s'y attendre en appliquant rigoureusement la théorie de l'identité, et ces images disparaissent sous l'influence de la notion du relief. Brücke avait insisté justement, il est vrai, sur la grande influence exercée par les mouvements des yeux. Cependant il n'en est pas moins constant que, même lorsque l'on élimine cette influence, l'observateur le plus exercé ne peut s'empêcher de fusionner des images doubles pareilles et très-voisines, tandis qu'il distingue avec la plus grande facilité de semblables images tout aussi rapprochées, mais situées dans le champ monoculaire ou différenciées par leur couleur dans le champ binoculaire. Les partisans de la théorie d'identité ont été encore plus choqués par l'assertion de Wheatstone, d'après laquelle, dans certaines circonstances, les impressions des points rétiniens identiques peuvent aussi être dissociées et localisées dans deux parties différentes de l'objet, situées l'une à côté de l'autre. J'ai déjà dit plus haut que ce dernier fait est une conséquence nécessaire du premier, et qu'on peut en constater l'exactitude lorsque l'expérience est convenablement disposée. Seulement il ne faut pas exiger, comme l'ont toujours fait les adversaires de Wheatstone, que la dissociation des impressions identiques puisse aller bien plus loin que ne fait, dans les mêmes conditions, la réunion des impressions disparates.

Sous la pression des faits, Panum fut amené à faire subir à la théorie d'identité une modification d'après laquelle chaque point a de l'une des rétines serait identique avec un certain cercle sensitif A qui lui correspondrait dans l'autre; de sorte que l'image du point *a pourrait* se fusionner avec celle d'un point quelconque de A qui appartiendrait à un

contour analogue à celui dessiné en a; la perception de profondeur variant avec celui des points A qui se fusionnerait avec a. La coïncidence avec l'un ou l'autre point dépendrait de l'endroit où se trouverait, dans le cercle A, un contour analogue à celui passant par a. Panum utilise les phénomènes d'antagonisme pour démontrer l'action dominatrice des contours dans le champ de vision commun aux deux yeux; mais il a considéré la domination des contours comme trop absolue et trop durable. D'après lui, la lutte a principalement lieu entre des couleurs et des contours différents, mais d'intensité à peu près égale. Ceux qui se ressemblent ont de la tendance à se fusionner.

Si l'on veut considérer les propositions établies par Panum comme étant seulement l'expression générale des faits, et c'est ce à quoi il attache surtout de l'importance, on peut dire qu'elles sont assez exactes. Je n'aurai que peu d'objections à faire à la manière dont il expose les faits : 1° Je n'ai pas pu constater l'existence réelle des couleurs résultantes binoculaires, même en répétant les expériences qu'il a décrites. 2° M. Panum n'a pas employé de moyen suffisant pour fixer l'attention, et, par conséquent, il n'a pas pu reconnaître suffisamment le rôle important que l'attention joue dans la lutte des champs visuels et dans la distinction des images doubles. 3° Il considère les mouvements des yeux qui se produisent lors de la fixation des images, comme étant des mouvements réflexes involontaires, tandis que je puis bien reconnaître en moi une tendance à prendre certaines positions habituelles, mais que cette tendance n'influence en rien la spontanéité du mouvement lorsque je désire produire une autre position des points de regard. 4° La fusion des images doubles ne dépend pas seulement de l'analogie des contours et de la quantité dont elles s'approchent d'être correspondantes, mais aussi de la présence ou de l'absence d'autres points de comparaison pour la mensuration exacte de la disposition apparente des deux contours dans le champ commun de la vision. Ce dernier point avait déjà été mis en lumière par les expériences de Bergmann (1), et il ressort également de l'expérience de la figure U, qui est décrite plus haut page 937, même si l'on fait abstraction des expériences de Volkmann contre lesquelles Panum a objecté que, par suite de l'addition de lignes et de points, elles présentent des modifications des contours qui, bien que petites et insignifiantes, peuvent cependant empêcher aussitôt la fusion. Mais, ainsi qu'il résulte des expériences de Bergmann et des miennes, des lignes correspondantes situées toutes deux du même côté de deux lignes disparates empêchent encore la fusion de ces lignes,

(1) *Göttinger gelehrte Anzeigen*, 1859, p. 1055-1063.

qui se produirait en leur absence, et cela sans exercer la moindre influence sur l'analogie des contours de ces lignes disparates.

Les explications de Panum, après les confirmations et les développements contenus dans un second travail (1), ne consistent guère qu'à élever chaque classe d'observations au rang de faculté particulière du système nerveux. C'est ainsi qu'il attribue aux deux yeux, ou à leurs appareils nerveux, une *énergie binoculaire de combinaison des couleurs*, à l'aide de laquelle les couleurs vues binoculairement pourraient se combiner en une couleur résultante. Puis vient une *synergie binoculaire d'alternance*, à l'aide de laquelle les couleurs vues binoculairement peuvent rester isolées et entrer en lutte. Cette dernière action prédominerait lorsque les excitations qui agissent des deux côtés sont très-intenses ou que l'excitabilité de l'organe visuel est très-considérable. Les images disparates se fusionneraient à l'aide d'une troisième *synergie binoculaire de la vision simple à l'aide de cercles sensitifs correspondants*. Enfin, la perception de la troisième dimension se ferait à l'aide d'une quatrième synergie spécifique : la *synergie de la parallaxe binoculaire*.

Les contours des figures sont considérés comme des excitants nerveux d'une intensité particulièrement grande, et les mouvements des yeux, comme étant des mouvements réflexes involontaires. M. Panum insiste également pour que l'on considère les diverses synergies dont il a parlé, comme des forces physiologiques et non comme des forces psychiques.

Je dois avouer que je n'ai pas bien saisi comment M. Panum comprend que la fusion des images disparates à l'aide de cercles sensitifs correspondants puisse se concilier avec la proposition fondamentale de la théorie de l'identité, d'après laquelle les impressions des parties identiques doivent se fusionner ; c'est là une contradiction réelle ou apparente sur laquelle M. Volkmann a déjà appelé l'attention. M. Panum déclare avoir voulu dire que les impressions appartenant à des cercles sensitifs correspondants peuvent se fusionner, tandis que celles des parties identiques se fusionnent *nécessairement*. Mais il résulterait de là que, toutes les fois que l'impression a de l'une des rétines se fusionne avec celles d'une partie disparate β, il *devrait* nécessairement y avoir aussi fusion entre a et la partie identique α de la seconde rétine, et, par suite, entre α et β ; il faudrait donc qu'il y eût fusion entre deux parties de la même image, à moins que l'une d'elles ne fût effacée, ce qui n'a pas lieu dans beaucoup de cas, tels que les présentent les expé-

(1) *Reichert's und du Bois-Reymond Archiv für Anat. und Physiol.*, 1861, p. 63-111.

riences décrites plus haut. Dans les figures comme *M* et *N* (pl. VIII), les deux lignes identiques et non fusionnées sont rendues saillantes par des contours ; aucune d'elles ne disparaît par suite de lutte avec l'autre; s'il en était autrement, leur réunion avec une ligne disparate de l'autre image ne pourrait pas donner lieu à un relief stéréoscopique, lequel se produit même à la lumière de l'étincelle électrique. De même, il doit toujours exister, entre les deux contours disparates et fusionnés qui limitent des champs différemment colorés, certains points identiques pour lesquels il y a équilibre dans la lutte entre les couleurs que font ressortir les contours voisins; ces points sont donc vus tous les deux et on les localise en des points différents de l'objet solide. Cette question me paraît, du reste, avoir peu d'importance pour la théorie ; je dois, en outre, d'après le résultat de mes propres observations, la considérer comme résolue dans le sens de l'observation de Wheatstone.

Bien qu'on renonce à la *nécessité* de la fusion des impressions reçues sur les points identiques, ces points n'en conservent pas moins cette importance pratique que les impressions analogues des deux rétines se fusionnent d'autant plus facilement qu'elles tombent plus près de parties identiques. Telle me paraît être la seule description exacte de la relation d'identité, quelque idée qu'on se fasse d'ailleurs de la cause qui donne naissance à cette relation, et M. Panum, en mettant cette circonstance en lumière par la nature de ses expressions, a fait faire à l'étude de la vision binoculaire un progrès que je m'empresse de reconnaître; je serais également le dernier à lui reprocher de s'être montré prudent et même craintif, dans la généralisation théorique des faits qu'il a observés. Je n'aurais pas critiqué ici ses essais de théorie, qu'il prie lui-même de ne pas considérer comme étant la partie importante de son travail, si je n'étais pas forcé, par la nature du sujet, de parler de toutes les explications possibles, et si une partie des idées théoriques de Panum ne formaient pas la base de la théorie plus récente de E. Hering, dont nous allons avoir à nous occuper.

Le lecteur a compris que les explications données par Panum, au moins pour ce qui a trait à la fusion et à l'antagonisme des images, sont plus apparentes que réelles : le procédé suivi consiste à réunir les faits en une idée abstraite ; quant à l'explication causale, nous n'y trouvons qu'une négation, sous forme d'une protestation contre la participation des processus psychiques, négation qui ne s'appuie que sur l'observation inexacte des faits. Du reste, ces explications attribuent à la substance nerveuse des formes d'activité que nous trouvons bien dans le domaine des actes psychiques d'ordre inférieur, tandis qu'on n'a jamais rien trouvé d'analogue dans le monde matériel.

Les traits principaux de la théorie de Panum se présentent à nous sous une forme plus nette et plus définie dans la théorie de la vision binoculaire établie par E. Hering. Nous rencontrons ici, ce me semble, la forme la plus conséquente que la théorie nativistique ait reçue : un examen approfondi devient donc nécessaire. Un progrès important de la théorie de Hering, c'est qu'elle part d'une connaissance plus exacte de la direction visuelle apparente des objets, ce qui supprime les difficultés qu'avaient rencontrées les théories antérieures.

M. Hering admet qu'à l'état d'excitation, les différents points de la rétine provoquent, outre les sensations colorées, trois autres sortes de sentiments d'étendue (*Raumgefühle*). La première répond à la position en hauteur de la portion de la rétine correspondante, la seconde à sa position en largeur. Les sentiments de hauteur et de largeur, dont la réunion donne la notion de direction relativement à la position de l'objet dans le champ de la vision, sont égaux pour les points rétiniens correspondants. Il existe, de plus, un troisième sentiment d'étendue, d'une nature particulière, c'est le sentiment de profondeur qui doit avoir des valeurs égales, mais de signe contraire, pour des points rétiniens identiques, et des valeurs égales et de même signe pour les points situés symétriquement. Le sentiment de profondeur des moitiés externes des rétines est positif, c'est-à-dire qu'il répond à une profondeur plus grande; celui des moitiés internes est négatif: il répond à une distance moindre.

Cette hypothèse remplit la condition que nous avons vue être nécessaire pour qu'une théorie d'identité puisse s'accorder avec les faits : les impressions des parties rétiniennes correspondantes sont pareilles sous un rapport, c'est celui du sentiment de direction, et différentes sous un autre, celui du sentiment de profondeur. Jusqu'ici les hypothèses de Hering me paraîtraient non pas nécessaires, mais avantageuses pour la théorie empiristique que je défends ; elles contribueraient à expliquer plus facilement comment l'habitude peut contribuer à l'éducation de l'estimation oculaire. Seulement les « sentiments d'étendue » devraient être considérés alors comme des signes locaux dont l'application à l'étendue ne pourrait être apprise que par l'expérience. Il serait évidemment avantageux d'avoir des signes semblables pour les parties semblables qu'ils doivent désigner.

Sous un seul rapport, l'écart des méridiens verticaux apparents et identiques rend nécessaire une modification des hypothèses de Hering pour les yeux qui présentent cette aberration, ainsi que cela résulte des expériences que j'ai faites avec M. Dastich. En effet, il faudrait donner chez nous à la hauteur et à la largeur des valeurs égales pour des parties identiques, mais les valeurs positives et négatives de la profondeur,

au lieu d'être séparées par les méridiens verticaux apparents correspondants, le seraient par les méridiens verticaux réels. Et, comme je l'ai déjà fait remarquer plus haut, lorsque les yeux sont symétriquement placés, nous voyons perpendiculaire au plan de visée une ligne qui se peint sur les deux méridiens verticaux réels, lesquels ne sont pas identiques, tandis qu'une ligne qui se peint sur les méridiens verticaux apparents, qui sont identiques, paraît inclinée par rapport à l'observateur, son extrémité supérieure étant plus éloignée que l'inférieure. Autant que je puis en juger, cette aberration n'exerce aucune autre influence relativement aux conséquences de la théorie.

Mais voici que, chez M. Hering, nous nous heurtons encore au mystère de la théorie de l'identité : *Les excitations lumineuses pareilles ou différentes qui tombent sur des points de coïncidence* (c'est-à-dire des points correspondants) *ne peuvent jamais produire qu'une sensation lumineuse simple.* Elles *doivent* donc nécessairement se fusionner, c'est ce qui est répété à chaque instant par Hering ; tandis que, d'un autre côté, les images disparates de cercles sensitifs correspondants *peuvent* également être fusionnées. Chez Hering aussi, cette proposition me paraît née d'une disposition polémique contre des adversaires peut-être trop ardents de la théorie d'identité, plutôt qu'elle ne me paraît être nécessairement exigée par la théorie. Autant que je puis en juger, on aurait pu éviter cette phrase sans nuire à l'ensemble de la théorie, en disant que les images qui présentent des contours et des colorations analogues se fusionnent d'autant plus facilement, qu'elles sont plus voisines de parties identiques.

A cette vision simple, obtenue par des parties rétiniennes disparates, M. Hering n'assigne pas une cause organique, comme M. Panum, mais une cause psychique ; il s'appuie sur cette circonstance que la dissociation de sensations complexes exige de l'exercice et une éducation toute particulière de l'attention, proposition qui est parfaitement exacte et qui peut expliquer bien plus de contradictions apparentes que ne semble le penser M. Hering. Sa théorie rencontre notamment la difficulté suivante. Soient a et α des parties rétiniennes correspondantes ; soit b une partie voisine de a et dans le même œil; supposons que b et α reçoivent des images pareilles : d'après M. Hering, elles se fusionnent parce qu'elles sont égales en qualité, très-analogues pour le sentiment de direction, ne diffèrent d'une manière notable que pour le sentiment de profondeur, et que nous ne prenons pas le temps de les considérer séparément ; nous nous hâtons de les fixer dès que nous les remarquons, — ce qui, d'après son idée, se ferait par une sorte de mouvement réflexe, — et alors nous les voyons simples. Mais je demanderai alors

pourquoi nous distinguons d'une manière tellement plus rapide et plus facile deux images pareilles reçues en a et en b. En effet, non-seulement ces images se ressemblent qualitativement et présentent au sentiment de direction la même petite différence que b et α, mais elles présentent encore une différence tout aussi petite pour le sentiment de profondeur, tandis que b et α présentent, sous ce rapport, une très-grande différence. Il résulterait donc de la manière de voir de M. Hering, que les sensations de a et de b devraient se fusionner bien plus facilement encore que celles de α et de b, ce qui est en contradiction directe avec les faits. M. Hering peut nous répondre que si nous cherchons à fixer a ou b, nous ne pouvons fixer qu'un seul de ces points, et que, pour cette raison, nous avons *appris* à distinguer a et b, mais non α et b. Mais ce serait là revenir absolument au point de vue de la théorie empiristique, d'après laquelle nous sommes obligés d'*apprendre* à distinguer et à interpréter les sensations des signes locaux.

Cette circonstance, où M. Hering est obligé de chercher dans la théorie psychique la solution des difficultés que provoque son opinion, est précisément celle qu'il choisit pour attaquer les explications psychologiques données par Volkman et par d'autres. La faute de Volkmann, si c'en est une, consiste uniquement en ce qu'il a donné aux processus psychiques dont il s'agit ici les mêmes dénominations que nous leur attribuons lorsqu'ils parviennent à la conscience. Mais nous n'avons guère d'autres dénominations à notre service, parce que nous ne pouvons dénommer des actes qu'en tant qu'ils parviennent à notre connaissance. Si donc nous désignons sous le nom d'*actes psychiques inconscients* ceux que nous ne connaissons que par les résultats, on comprend parfaitement ce que cela veut dire ; c'est même là la seule dénomination que nous puissions employer à ce sujet pour éviter des périphrases continuelles.

D'après M. Hering, la sensation totale résultant de la fusion binoculaire des deux impressions prend la valeur moyenne des sentiments de direction et de profondeur. Comme les sentiments de profondeur des parties identiques sont de même valeur, mais de signe contraire, la moyenne du sentiment de profondeur devient nulle pour la fusion des impressions identiques. Pour les images doubles homonymes, il est facile de voir que la moyenne du sentiment de profondeur devient positive, et l'objet paraît plus éloigné ; pour les images doubles croisées, la moyenne est négative et l'objet paraît plus voisin que les objets représentés identiquement.

Si toute impression rétinienne devait toujours se fusionner, sous une intensité égale, avec celle des parties correspondantes de l'autre rétine,

la valeur moyenne de la profondeur, lors de la fusion, serait toujours nulle. Ce qui rend libre la valeur de profondeur relative à un contour et lui permet d'entrer avec sa valeur particulière dans la fusion avec le contour correspondant de l'autre champ visuel, c'est seulement cette circonstance que, dans l'antagonisme, l'impression du champ visuel qui contient le contour l'emporte complétement sur la sensation de l'autre champ. Cette explication se trouve également en opposition avec les modifications indiquées plus haut pour l'expérience de Wheatstone : dans cette forme de l'expérience, les contours dissemblables qui ne se fusionnent pas, se trouvent sur des parties coïncidentes, et, même à la lumière de l'étincelle électrique, chacun des deux apparaît dans l'image stéréoscopique, avec la valeur de profondeur qui lui est propre, ce qui prouve bien qu'aucun d'eux ne disparaît par un effet d'antagonisme.

C'est sur cette hypothèse que M. Hering édifie sa construction de l'espace. Il admet que tous les points dont la valeur de profondeur est nulle, apparaissent, par un acte immédiat de la sensation, dans un plan qu'il appelle *la surface centrale de l'espace visuel.* Prenons, dans cette surface, pour origine d'un système de coordonnées rectangulaires, le point qui correspond aux deux centres rétiniens, les coordonnées répondant à la profondeur étant perpendiculaires à la surface centrale; les trois coordonnées de chaque point visible seraient proportionnelles aux valeurs de hauteur, de largeur et de profondeur de la sensation d'étendue que donne l'impression binoculaire. D'après M. Hering, on aurait ainsi une distribution des points dans l'espace qui répondrait, au moins pour la disposition des points, à leur distribution réelle, bien que les rapports des différentes distances linéaires aient encore à subir, d'après l'expérience, un grand nombre de corrections. Comme le corps de l'observateur se présente également dans l'espace ainsi rempli, on obtient en même temps la notion de la relation entre la position des objets et celle de l'observateur.

Tels sont les traits essentiels de la théorie de Hering. — Les théories nativistiques plus anciennes n'avaient considéré comme innée que la distribution des points dans le champ visuel, tandis qu'elles prenaient pour un acte du jugement la perception de la troisième dimension. Panum avait émis le premier, mais sans lui donner une forme bien précise, l'hypothèse d'après laquelle la parallaxe binoculaire pourrait nous donner la sensation immédiate des profondeurs. C'est cette idée que, comme nous venons de le voir, M. Hering a cherché à développer d'une manière plus précise, de manière à donner à la théorie nativistique un champ bien plus étendu qu'on n'avait encore fait. Le système qu'il a édifié est l'œuvre d'un esprit clair et logique ; il tient compte

de tous les faits connus jusqu'ici et aussi de quelques nouveaux faits importants que M. Hering lui-même a découverts; aussi ce système peut-il, à mon avis, être considéré comme un bon spécimen de cette classe de théories, et c'est pour ce motif que je me permets de diriger spécialement ma critique contre la théorie de M. Hering.

La première objection que j'aurais à faire et qui est suffisante pour moi, c'est que je ne peux pas me figurer comment une simple excitation nerveuse, sans aucune expérience préalable, peut donner lieu à une représentation d'espace complète. Mais je reconnais que cette objection est peut-être de nature trop métaphysique pour être apportée sur le terrain scientifique; je ne la mentionne donc que pour les lecteurs qui partagent mon sentiment. — Passons maintenant aux objections qui sont tirées des faits expérimentaux.

J'ai déjà mentionné plus haut que les hypothèses de la théorie Panum-Hering, sur la fusion des deux champs visuels, sont en désaccord avec les faits. La possibilité de percevoir le lustre stéréoscopique, même à l'éclairage instantané, est en opposition avec l'hypothèse d'après laquelle les impressions des deux yeux ne se fusionneraient que grâce à de lentes alternatives où prédomineraient tantôt l'une, tantôt l'autre de ces impressions. L'opinion que, dans le cas de fusion de contours disparates, les images identiques qui leur répondent dans l'autre rétine, seraient neutralisées, se trouve contredite par la réussite de l'expérience de Wheatstone, et surtout parce que cette expérience réussit sous un éclairage instantané, où les mouvements des yeux ne peuvent exercer aucune influence.

Une autre hypothèse fondamentale de la théorie de Hering, c'est que les points qui se peignent sur des parties rétiniennes identiques (ou, d'une manière plus générale, sur des parties dont la valeur de profondeur est nulle), doivent toujours paraître situés dans un même plan; que si les points objectifs vus binoculairement paraissent situés en avant ou en arrière de ce plan (surface centrale de l'espace visuel), cela proviendrait uniquement de la valeur positive ou négative de leur parallaxe stéréoscopique. J'ai déjà décrit plus haut (pages 830 et suivantes) une série d'expériences, d'où il résulte qu'à défaut de tout autre renseignement de profondeur, des systèmes linéaires simples, ayant exactement la même parallaxe binoculaire, peuvent présenter au stéréoscope l'aspect de surfaces bombées ou planes, suivant que les lignes transversales présentent plus d'analogie avec les images binoculaires d'un objet voisin qu'on regarderait avec des lignes de regard convergentes ou avec celles d'un objet lointain qu'on regarderait avec des lignes visuelles parallèles.

J'ai démontré, de plus, que si pour M. Hering un système de fils verticaux situés sur la surface cylindrique de l'horoptère des verticales paraît se trouver dans un plan, cette circonstance, que M. Hering lui-même ne considère pas comme rigoureusement réalisée chez lui, provient d'une particularité de ses yeux, laquelle ne s'est présentée ni chez moi, ni chez aucun des individus que j'ai examinés ; de plus, l'erreur commise dans l'appréciation de la convergence des yeux, erreur qui paraît être la cause de ce phénomène, est beaucoup trop faible, chez la plupart des personnes, pour pouvoir donner lieu au résultat indiqué par M. Hering.

Ce qui me paraît constituer une difficulté fondamentale, ou plutôt une impossibilité de la théorie de Hering, ce sont les sentiments de profondeur. Tant que les impressions de l'une des rétines se réunissent à des impressions correspondantes ou disparates de l'autre rétine, lorsqu'il ne s'agit que de la différence entre les sentiments de profondeur des deux parties, il ne se présente pas de grande difficulté, sauf celles que je viens d'indiquer. Mais lorsque l'image de l'une des rétines persiste par elle-même, sans fusion, et prédomine dans la lutte avec celle de l'autre rétine, M. Hering admet, et doit nécessairement admettre, que le sentiment de profondeur de celle des impressions qui domine dans la lutte l'emporte également, sans fusion, sur celui de la partie correspondante de l'autre rétine.

M. Hering (1) croit même pouvoir donner quelques expériences dans lesquelles de semblables images monoculaires apparaîtraient avec l'impression de profondeur qui leur est particulière.

a. — Lorsqu'on fixe un point situé dans un plan médian et qu'il s'en trouve un autre en avant ou en arrière du point de fixation, ce second point apparaît en images doubles qui paraissent être également en avant ou en arrière du point de fixation, non loin de la position réelle de l'objet qui les fournit. Cette observation n'est pas en contradiction avec la théorie de Hering, mais elle ne prouve rien non plus en faveur de cette théorie, puisque nous sommes assez exercés pour apprécier à peu près exactement la position d'un objet dont nous voyons deux images dissociées, mais assez voisines. Que c'est l'expérience et non pas le sentiment de profondeur qui est ici en jeu, c'est ce que montrent les expériences suivantes, où ces deux éléments agissent en sens contraire et où l'expérience me paraît dominer toujours, ou au moins généralement, ainsi que M. Hering en convient lui-même.

b. — On suspend deux petites boules, l'une à côté de l'autre, à l'aide

(1) Beiträge zur Physiologie, 5 Heft, p. 338-342.

de fils ; on fait croiser les lignes visuelles en arrière de ces boules de manière à en voir trois, une médiane vue binoculairement, et deux latérales vues monoculairement : celle de droite par l'œil gauche, celle de gauche par l'œil droit. D'après M. Hering, les boules latérales paraissent plus voisines que la médiane. J'ai répété l'expérience, et je trouve que le résultat dépend de la position de la tête. Si, pendant que je fixe les boules, ma tête est inclinée en arrière, et, par conséquent, le plan de visée situé au-dessous de sa position primaire, le fil du milieu, que je vois binoculairement, me paraît se rapprocher de moi, par son extrémité inférieure qui porte la boule, comme on l'a déjà vu (pages 837 et 838), et la boule médiane paraît alors plus voisine que les deux latérales. Lorsque la tête est penchée en avant, on obtient l'aspect contraire, dont le sens répond évidemment à celui qu'exige la théorie de Hering, mais par un tout autre motif. Lorsqu'on incline la tête tantôt en avant, tantôt en arrière, la boule change également de position.

c. — Lorsqu'on regarde fixement une tête d'épingle à côté de laquelle se trouve un fil métallique vertical, situé un peu plus à gauche et un peu plus près que l'épingle, ce fil paraît double ; son image de droite, qui appartient à l'œil gauche, devrait avoir une valeur de profondeur négative ; celle de gauche, relative à l'œil droit, devrait avoir une valeur de profondeur positive. L'image de droite devrait donc paraître bien plus rapprochée, et celle de gauche bien plus éloignée que l'épingle. M. Hering avoue qu'on ne peut obtenir une semblable notion que très-difficilement et d'une manière fugitive, ce qu'il explique en disant que la moindre oscillation de la convergence suffit pour rectifier le jugement relatif à la position de l'objet. Pour ne pas m'exposer à lui faire tort, je vais reproduire ses propres termes : « Je vois d'abord, et en général, » toutes les fois que mes yeux exécutent un mouvement quelconque, » même très-peu considérable, le fil donner deux images illusoires, » *toutes deux* plus voisines que l'épingle fixée qui paraît simple. Mais » si je fixe d'une manière constante et ferme, et que je m'efforce de » concentrer toute mon attention sur l'épingle que je fixe, celle des » images du fil qui appartient à l'œil gauche passe brusquement *derrière* » l'épingle, et cet effet se présente avec une telle énergie que je ne peux » comparer cette impression qu'à celle que nous donnent les images » stéréoscopiques au moment où se produit brusquement le relief. Le » phénomène se produit avec la plus grande certitude, précisément au » moment où j'y pense le moins. Mais il suffit du moindre déplacement » du regard, il suffit de *penser* à la seconde image qui paraît plus rap- » prochée, pour ramener aussitôt la première image en *avant* de la » surface centrale ; car alors la relation des deux images à un seul et

» même objet s'impose à nous, ce qui dérange l'impression purement » sensuelle. Le phénomène disparaît aussi tout à fait spontanément » dès que, par suite d'immobilité de l'œil, l'image illusoire entre dans » une phase de lutte défavorable, comme il a été expliqué plus haut. » On voit donc que bien des causes peuvent troubler le résultat de » l'expérience. Je ne puis la recommander qu'à ceux qui ont une *grande* » habitude de la vision indirecte, qui savent véritablement fixer d'une » manière soutenue, et ne croient pas seulement savoir le faire. Ce n'est » pas en un an, ni même en deux ans, qu'on apprend à percevoir les » phénomènes de diplopie les plus délicats. »

Quelques pages plus haut, M. Hering, en décrivant les perturbations que peut rencontrer la sensation dans ces expériences, dit encore : « Ajoutons que, lorsque les images illusoires ont une certaine étendue, » la lutte ne présente pas toujours les mêmes phases dans toutes les » parties de l'image ; certaines parties dominent, d'autres sont vaincues » dans la lutte, ce qui rend tout à fait impossible une localisation fixe » et certaine. Lorsque des parties de l'image qui se trouve sur la partie » coïncidente correspondante de l'autre rétine viennent se mêler ici » dans l'image illusoire avec leurs valeurs de profondeur opposées, de » manière à paraître lui appartenir, il peut arriver que *la localisation* » *soit opposée à celle que l'on devrait attendre* à priori. »

Cette dernière partie de la description est complétement d'accord avec ce que j'ai vu moi-même en répétant consciencieusement l'expérience avec le plus de soin possible. J'ai fixé l'épingle d'une manière si assidue et si exacte, qu'à la fin tout s'effaçait par la production des images accidentelles négatives. J'ai vu qu'au moment où, dans la lutte avec le fond et avec les images accidentelles, on n'aperçoit plus que de temps à autre quelques parties des images du fil surgir dans le brouillard, elles paraissent tantôt éloignées et tantôt rapprochées, ces deux apparences étant aussi fréquentes et aussi énergiques l'une que l'autre. Je n'ai pas pu constater que la localisation se fît de préférence dans le sens de la théorie de Hering, et je n'aurais jamais choisi une semblable observation sur des images à moitié effacées pour la faire servir de base à une nouvelle théorie de la vision. Cependant j'accorde que j'ai pu être maladroit ; seulement M. Hering m'excusera si je ne puis pas me déclarer convaincu par cette preuve qui lui paraît « si péremptoire en faveur » de l'exactitude de la théorie ».

d. — On peut facilement expliquer, comme on l'a vu plus haut (page 926), les expériences de Panum sur la fusion stéréoscopique de deux lignes verticales situées dans un champ avec une troisième ligne située dans l'autre. Une pareille image est l'expression optique exacte

d'un couple de lignes situées dans l'espace et dont l'une est située précisément devant l'autre pour l'un des yeux.

e. — Lorsque, fermant un œil, on regarde avec l'autre un plan quelconque perpendiculaire au visage, la partie de ce plan qui est située du côté temporal devrait posséder une valeur de profondeur positive, et celle située vers le nez, une valeur négative; le plan devrait donc paraître fortement incliné par rapport à la ligne visuelle. Si cet effet ne se produit pas, c'est ce que M. Hering explique en admettant qu'à cause de l'expérience qui nous apprend quelle est, par rapport à notre corps, la position du plan que nous voyons, nous faisons exécuter, dans notre imagination, à la surface centrale de l'espace visuel, une rotation de 45° qui ramène le plan dans sa position véritable.

Mais nous pouvons modifier l'expérience de manière à empêcher ce subterfuge. Plaçons devant le milieu du visage une bande de papier noir dont la largeur soit égale à l'intervalle qui sépare les deux yeux. L'œil droit ne voit alors que la moitié droite, et l'œil gauche, la moitié gauche des objets extérieurs. On voit monoculairement tout le champ visuel, à l'exception d'une petite bande moyenne située dans les cercles de diffusion des deux bords du papier. Il ne se produit pas de lutte sensible entre le noir du papier et les images claires de la chambre lorsqu'on promène le regard; aucun mouvement des yeux n'est capable de venir en aide au jugement sur la distance véritable des objets. On ne peut non plus lever la difficulté en admettant que la surface centrale tourne de 45°. Cette expérience me paraît réunir toutes les conditions favorables à l'apparition, dans toute leur pureté, des sentiments de profondeur supposés par M. Hering; on devrait s'attendre, à l'endroit où se trouve la limite commune des deux champs visuels, à voir les deux parties du mur se couper sous un angle assez aigu (d'après la théorie de Hering, cet angle devrait être égal à l'angle de convergence des yeux) qui serait tourné vers l'observateur comme le tranchant d'un couteau. Mais on ne voit rien de pareil : le mur paraît absolument plan, tout à fait comme lorsqu'on le voit avec les deux yeux.

Mais les autres illusions, qui dépendent de l'aberration des méridiens verticaux apparents, des différences de torsion que peuvent présenter les deux yeux, et ainsi de suite, se voient toutes avec netteté dans cette expérience. La connaissance que nous avons de la forme plane du mur doit-elle donc détruire une seule des illusions? Pourquoi donc, lorsque nous pouvons nous assurer, jusqu'au moment de mettre l'écran, de ce que les lignes horizontales du mur sont droites et que toutes les lignes verticales sont parallèles, cette connaissance ne détruit-elle pas

aussi les illusions qui dépendent de la torsion et de la déviation des méridiens ?

Même dans les cas où les contours des images répondent parfaitement à ceux d'un objet réel, et où, par conséquent, les sensations de profondeur se trouvent dans un accord parfait avec les observations qu'on peut faire à l'aide des mouvements des yeux, dans les expériencs pseudoscopiques par exemple, les perceptions de profondeur ne peuvent pas se produire lorsque les ombres portées sont en contradiction avec elles; et cependant la relation entre la forme et l'ombre portée est certainement un élément expérimental. Lors même que les ombres portées ne sont pas en contradiction, sous la seule influence du souvenir de la forme que possède en réalité le corps qu'on observe pseudoscopiquement, bien des personnes, qui sont peut-être peu habituées à tenir compte de la parallaxe binoculaire, sont absolument incapables d'obtenir l'impression pseudoscopique ; d'autres n'y parviennent qu'à la longue et après avoir beaucoup promené leur regard.

Il résulte de tous ces faits que les sentiments de profondeur de Hering agissent alors seulement que les éléments donnés par l'expérience exigent une perception de profondeur ; qu'ils disparaissent, au contraire, sans laisser de traces dès qu'ils sont en contradiction avec l'interprétation donnée par l'expérience aux phénomènes visuels ou même avec le souvenir de la forme de l'objet considéré. Ne doit-on pas conclure de là que les sentiments de profondeur, si tant est qu'ils existent, sont tout au moins trop faibles et trop confus pour pouvoir exercer aucune influence notable en présence des éléments déduits de l'expérience, et que la notion de profondeur doit pouvoir se produire tout aussi bien *sans* ces sentiments qu'*avec* leur secours, ou même en *contradiction* avec eux, ainsi que cela doit avoir lieu d'après M. Hering lui-même ?

Nous arrivons enfin à une difficulté importante, à laquelle n'a encore échappé aucune théorie nativistique, à moins de se borner à des indications générales. En effet, ces théories obligent toujours à admettre que des *sensations* réelles peuvent céder devant une expérience démontrant qu'elles ne sont pas fondées. Mais il n'existe aucun exemple bien constaté qui soit favorable à cette assertion. Dans toutes les illusions des sens qui sont provoquées par des sensations anormales, la sensation illusoire ne disparaît jamais par suite de la réflexion qui pénètre la cause de l'illusion. Les phosphènes par pression, les gerbes lumineuses du bord de la papille, les images accidentelles, etc., subsistent à leur position apparente dans le champ visuel, tout aussi bien que l'image réfléchie par un miroir continue à paraître située derrière le

miroir, quoique nous sachions très-bien que cette image n'a aucune existence réelle. On peut assurément détourner l'attention, et la maintenir détournée des sensations qui n'ont aucune relation avec les objets extérieurs, telles que les faibles images accidentelles, les objets entoptiques, etc. On peut, de plus, commettre de notables erreurs dans l'appréciation de leur intensité, par suite de contraste; ou bien encore, lorsqu'on les considère comme des effets communs de deux objets, on peut les distribuer d'une manière erronée entre ces deux objets, ce qui arrive dans certains phénomènes du contraste. Tant qu'on ne distinguait pas encore suffisamment les conclusions conscientes d'avec les conclusions par induction, l'une des principales objections qu'on opposait aux formes anciennes de la théorie empiristique était que les illusions des sens ne cèdent ni à l'intelligence de leur mécanisme, ni à l'expérience qui les contredit. Que deviendraient nos perceptions sensuelles si nous avions la faculté de négliger, ou même de changer en leur contraire, une partie de ces sensations qui ne répondraient pas exactement à l'ensemble de nos résultats d'expériences?

Prenons, par exemple, le cas de doubles images d'un seul et même objet, qui seraient situées toutes deux à droite du plan médian. D'après la théorie de Hering, l'une de ces images produit un sentiment de profondeur positif, et l'autre un sentiment négatif, aucun de ces sentiments n'est faible : d'après sa théorie des phénomènes stéréoscopiques, ils présentent tous deux une valeur considérable et très-nettement perceptible. Mais comme nous savons que les deux images vont ensemble et appartiennent à *un seul* objet, situé à une distance qui nous est plus ou moins bien connue, nous ne reconnaîtrions ordinairement pas la différence de leurs sentiments de profondeur, alors même que nous chercherions à voir si l'une de ces images paraît plus ou moins rapprochée de nous que l'autre. Produisons maintenant une faible différence de couleur entre les deux images, soit en fatiguant préalablement un œil pour une couleur, soit en l'éclairant latéralement, les deux images nous donnent alors réellement des sensations différentes. Mais cette différence est sensible alors même qu'elle est des plus faibles, et qu'elle ne serait peut-être pas perceptible sans le concours du contraste binoculaire, bien que nous sachions, en outre, que la coloration est subjective et ne possède aucune existence objective.

Considérons enfin le système complet de la localisation, tel qu'il est donné originairement, d'après Hering, par une *sensation d'espace* immédiate. Après tous les petits perfectionnements qu'on pourrait peut-être y apporter pour le rendre plus conforme à la réalité, tout ce qu'un pareil système peut faire, c'est de donner une localisation exacte des objets pour

une certaine direction unique des lignes visuelles. Dans tous les autres cas infiniment nombreux, la localisation serait plus ou moins erronée et devrait être corrigée par l'expérience. Ainsi, les hypothèses de Hering facilitent peut-être l'explication des phénomènes visuels dans un cas unique, mais la rendent d'autant plus difficile dans tous les autres. Quoi qu'il en soit, on peut dire que : si les éléments fournis par l'expérience sont capables de nous faire reconnaître exactement les conditions d'espace, même lorsqu'ils sont en contradiction avec des sensations directes, ils doivent encore plutôt et bien plus facilement pouvoir nous les faire reconnaître exactement lorsqu'il n'y a aucun obstacle pareil à surmonter (1).

Mais dès que, adoptant la théorie empiristique, nous rapportons à l'expérience toutes les notions d'espace, les illusions des sens ne nous présentent jamais de combat entre la sensation et l'expérience ; c'est seulement une induction acquise dans certaines conditions restreintes qui vient se trouver en opposition avec une autre, obtenue dans d'autres conditions. Il y a alors une lutte entre des puissances de même nature, et nous comprenons que la victoire peut rester tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, suivant que les circonstances se modifient, ou que le résultat puisse être indécis lorsque les conditions restent inaltérées.

Cependant je reconnais d'une manière formelle que les questions que nous avons discutées ici ne sont pas encore complétement résolues. J'ai choisi mon point de vue à cause de la simplicité des explications que l'on peut en déduire ; j'ai été guidé davantage encore par certaines considérations de méthode ; en effet, il me semble toujours préférable de fonder les explications des faits naturels sur les hypothèses *les moins nombreuses* et *les plus déterminées* possible. Mais je dois le dire aussi, dans le cours de ces recherches, qui ont absorbé une bonne partie de mon existence, plus j'ai appris à soumettre à ma volonté les mouvements de mes yeux et mon attention, moins il m'a paru admissible d'expliquer les phénomènes principaux de ce ressort, par l'action d'un mécanisme nerveux préexistant.

(1) Je désire que cette critique, que l'intérêt de la question m'a obligé de diriger contre les opinions de M. E. Hering, ne soit pas considérée comme l'expression d'une animosité causée par les attaques qu'il a dirigées contre mes derniers travaux. Je crois que le point de vue d'une théorie nativistique de la vision, adopté par M. Hering, devait presque nécessairement amener un esprit conséquent à proposer des hypothèses du genre de celles qui servent de base à sa théorie ; si j'ai spécialement dirigé mes attaques contre les travaux de cet auteur, c'est qu'ils m'ont paru être l'exposé le plus clair et le plus conséquent que l'on puisse encore faire actuellement de la théorie nativistique. Quant aux objections que M. Hering a soulevées contre mes travaux, j'ai cherché à les réfuter dans le cours de cette dernière partie, en tant qu'elles intéressent la question scientifique. Pour celles qui n'ont qu'un intérêt personnel, j'ai préféré les passer sous silence, excepté lorsque j'ai été dans le cas de reconnaître que je m'étais trompé.

En ce qui concerne les différences que cette exposition, dont la partie essentielle a déjà été publiée dans une conférence populaire en 1855, présente avec les autres travaux récents qui reposent sur la base d'une théorie empiristique de la vision, je n'ai pas tenu compte autant que Wundt, de la conscience musculaire, pour l'appréciation du relief dans le champ visuel et pour celle de la distance des objets : pour les raisons que j'ai déjà indiquées plus haut, la conscience musculaire me paraît être un élément assez inexact et assez variable. J'ai déduit, au contraire, les principales mensurations du champ visuel, de la coïncidence d'images différentes avec les mêmes parties rétiniennes. Wundt a le mérite d'avoir soumis les phénomènes psychiques, dont il s'agit ici, à un travail complet et très-utile. J'ai indiqué plus haut quelques observations où je ne suis pas d'accord avec lui.

A. Nagel explique la production des images doubles binoculaires en admettant que les deux yeux projettent leurs images rétiniennes sur deux surfaces sphériques différentes. Les centres de ces surfaces sphériques seraient aux points de décussation des lignes de visée de chaque œil et les deux surfaces se couperaient au point de fixation. Alors, tout point qui ne serait pas sur la ligne d'intersection des deux sphères doit être vu double. Nagel suppose qu'on regarde ces projections à partir du milieu de la ligne qui joint les deux centres oculaires, et suivant que les images doubles paraîtraient alors coïncidentes, croisées ou homonymes, elles présenteraient ces mêmes aspects dans le champ de la vision.

La théorie de Nagel se rapproche déjà passablement de la réalité ; mais, d'une part, elle est un peu artificielle, puisqu'elle suppose une double projection, et, d'autre part, on n'observe jamais la différence de distance des images doubles que la théorie de Nagel exige dans la plupart des cas ; enfin la position ainsi obtenue pour les images simples ne s'accorderait pas toujours exactement avec les faits. Du reste, c'est peut-être là le seul point essentiel par où ma théorie, donnée plus haut, diffère de celle de Nagel.

C'est A. Classen qui a donné la théorie exacte des images doubles et de leur position ; cependant il a eu tort de ne pas admettre l'exactitude des phénomènes indiqués par Hering, et qui placent le centre apparent des lignes de direction au milieu de l'intervalle qui sépare les deux yeux. Je suis d'ailleurs aussi peu disposé que M. Classen à prendre ce phénomène pour base de toutes nos localisations ; je ne le considère que comme une illusion sensuelle accessoire, qui présente même chez moi une valeur différente pour les deux yeux, et qui peut être évitée à l'aide d'une attention bien soutenue ; mais c'est une illusion qui existe réellement.

Une différence plus importante entre mon exposé théorique et celui de Classen, c'est qu'il considère le sens local de la rétine et la projection dans le champ visuel comme des éléments innés et non acquis. Mais si nous connaissions, par une sensation innée, la position relative des différents points rétiniens, l'identité des points correspondants serait également innée, puisque leur position similaire par rapport au point de regard serait alors donnée originairement dans la sensation. Cependant cette différence n'influe en rien sur l'exposé des chapitres de la vision que Classen a traités en détail, tels que l'étude du sens musculaire et de la vision binoculaire, et l'on y trouve un grand nombre d'explications intéressantes pour la physiologie, tirées des observations pathologiques qu'il expose.

Nous avons mentionné, en leur lieu, différentes idées de H. Meyer, de Donders, de Volkmann et de A. Fick, qui se rattachent à l'opinion empiristique.

1855. Helmholtz, Ueber das Sehen des Menschen. Ein populär wissenschaftlicher Vortrag, gehalten zu Königsberg i. Pr., zum Besten von Kant's Denkmal. Leipzig, L. Voss.
1861. A. Nagel, Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen. Leipzig und Heidelberg.
1862. W. Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. Leipzig und Heidelberg.
1863. A. Classen, Das Schlussverfahren des Sehactes. Rostock.
1864. A. Fick, Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Sinnesorgane. Lahr, Heft 2.
— W. Wundt, Vorlesungen über Menschen- und Thierseele. Leipzig, Voss, 2 vol.

FIN

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

(Les chiffres renvoient aux pages.)

A

D

E

F

G

H

I

J

L

M

N

O

P

R

S

T

U

V

Y

Z

FIN DE LA TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES NOMS PROPRES

CONTENANT TOUS LES NOMS MENTIONNÉS DANS L'OUVRAGE

EXCEPTÉ CEUX DES BIBLIOGRAPHIES.

A

B

C

D

E

F

G

H

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

W

Y

Z

FIN DE LA TABLE DES NOMS PROPRES.

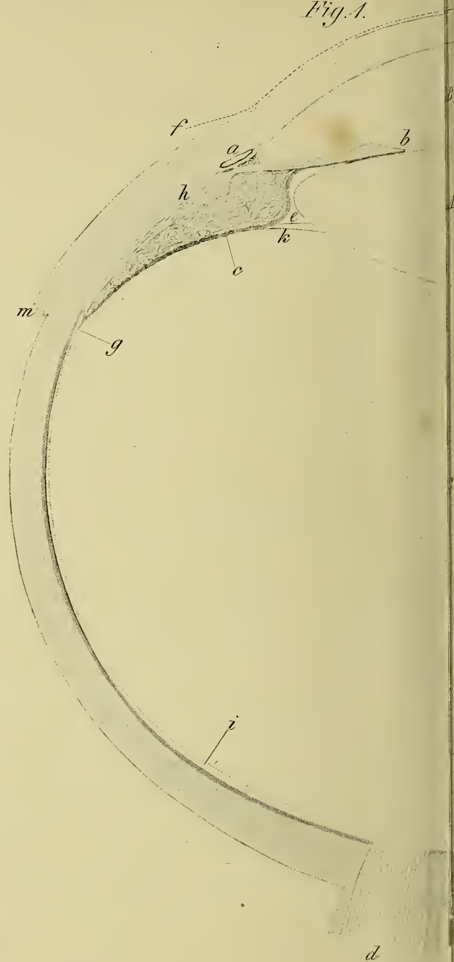
ERRATA (1).

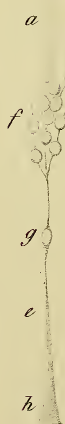
Pages.	Lignes.	En	Au lieu de :	Lisez
24	5	*montant :*	$C_1 A$	$G_1 A$
31	2	*id.*	images	usages
45	16	*id.*	vitesse de propagation	durée d'oscillation
62	6	*id.*	ou	et
63	(dans la seconde des équations 3c), *ajoutez en dénominateur la lettre g sous la lettre G''*			
86	7	*montant :*	d'un pinceau	d'une pince
92	18	*descendant :*	0,4764	0,5304
93	23	*montant :*	en avant de l'humeur	en avant, de l'humeur
92	4		du corps vitré	le corps vitré
114	11 et 12	*id.*	et *ac* perpendiculaire à *ad*	et *ab* perpendiculaire à *cd*
115	9	*id.*	ligne qui correspond	ligne visuelle avec la ligne qui correspond
132	1re ligne de la note.		1863	1862
152	16	*montant :*	radiaires	circulaires
153	15	*id.*	*ajoutez*	C. Völkers et V. Hensen viennent d'annoncer des expériences qui paraissent en confirmer l'exactitude.
199	5	*descendant :*	une à deux minutes	environ une minute
224	12	*id.*	soit donc β de	soit donc β la position de
225	20	*id.*	1698	1690
271	9	*id.*	*ajoutez*	(voyez page 744)
275			*supprimez la note* 3 *comme étant inutile*	
299	3	*id.*	tout champ	tout le champ
411	14	*id.*	Nous allons	I. — Nous allons
602	16	*montant :*	*ajoutez*	L'application de la loi de Donders à notre étude des mouvements de l'œil n'est pas modifiée non plus par une restriction à cette loi, qui sera mentionnée page 671.
735	10	*id.*	(p. 786)	(p. 736)
768	22	*descendant :*	figure 15	figure 150
768	dernière		il ne produit pas	il ne se produit pas

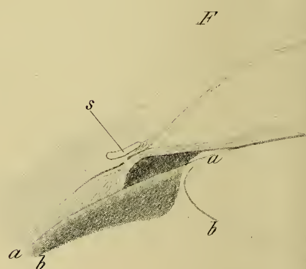
(1) Le papier de ce volume étant collé, le lecteur peut facilement reporter à la plume sur son exemplaire les corrections mentionnées ici.

Paris. — Imprimerie de E. Martinet, rue Mignon, 2.


Fig. 2.
d
C
c
f
I
b
E
A
a
B
S
D


Fig. 1.
f
a
b
h
e
k
c
m
g
i
d


Fig. 4. 1.
a
f
g
e
h


F
s
a
b
a
b

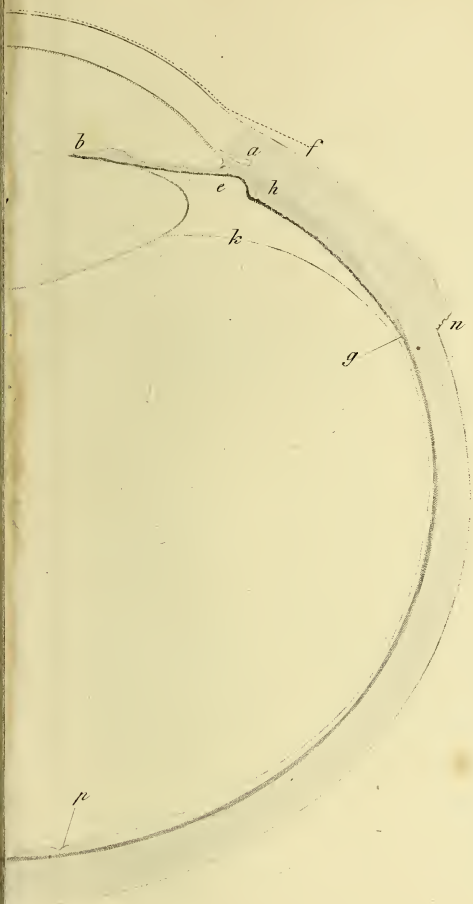


Fig. 5.

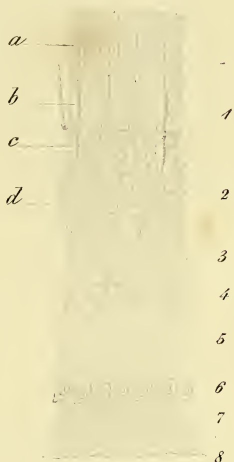
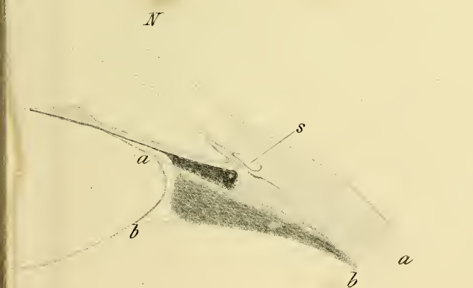


Fig. 4. 2.



Fig. 3.



C. E. Weber sc.

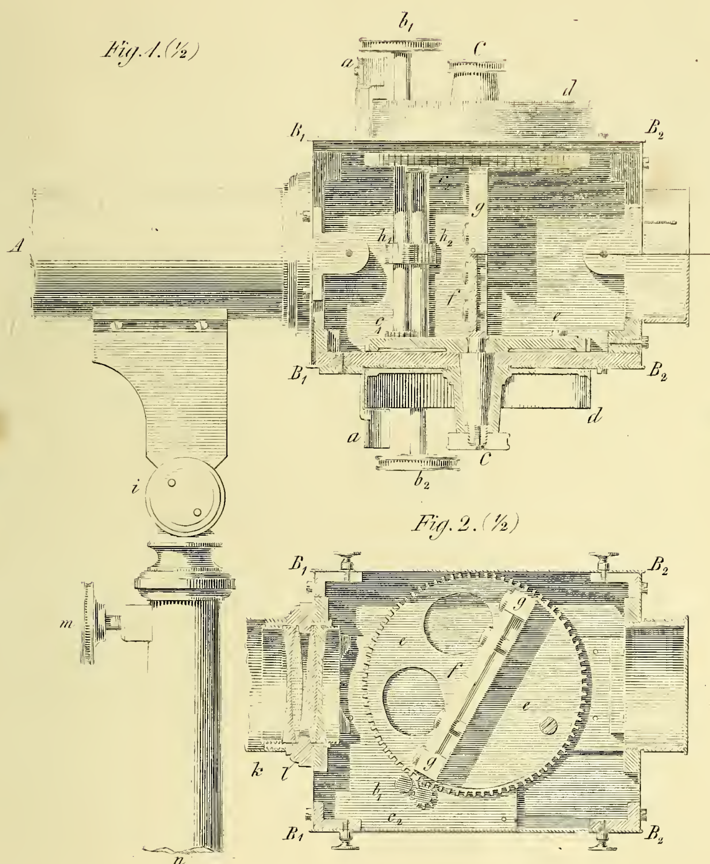


Fig. 4.

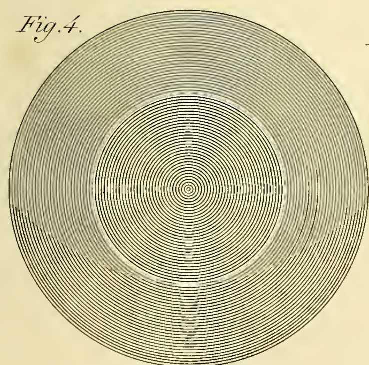


Fig. 5.

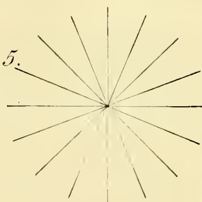
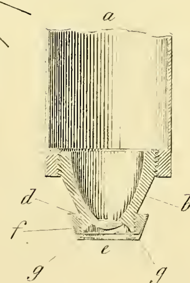
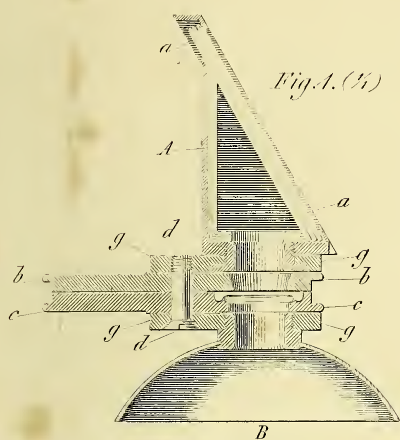
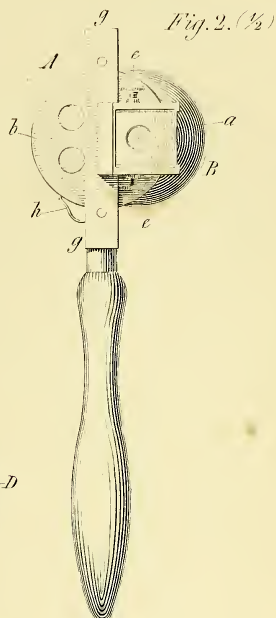


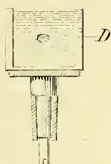
Fig. 3. (½)

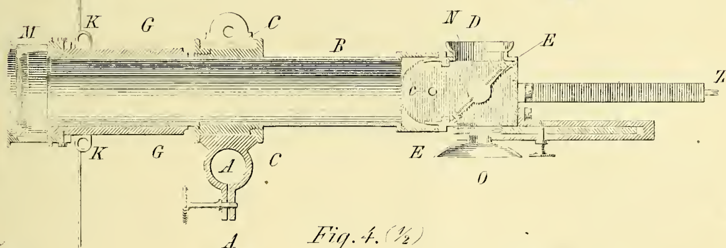


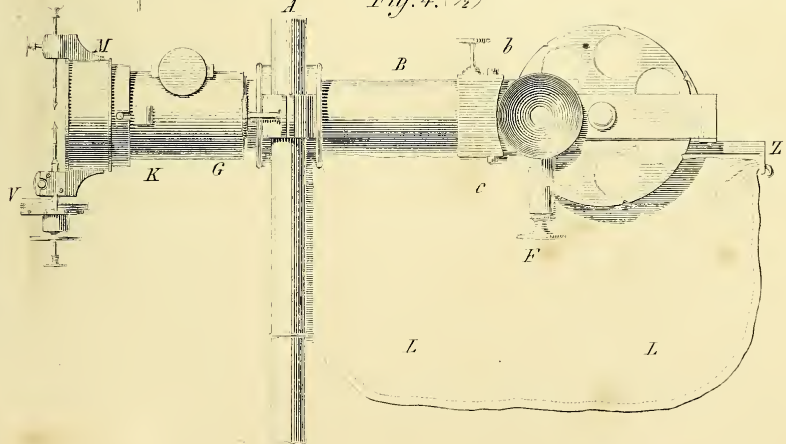
C. E. Weber sc.


Fig. 1. (1/1)
a
A
a
d
g
g
b
b
c
c
g
g
d
B


Fig. 2. (1/2)
g
A
e
b
a
B
h
e
g


Fig. 5.
D


Fig. 3. (1/2)
M
K
G
C
B
N
D
E
Z
c
K
G
A
C
E
O


Fig. 4. (1/2)
A
M
B
b
Z
K
G
V
c
F
L
L

C. E. Weber sc.

Fig. 1.

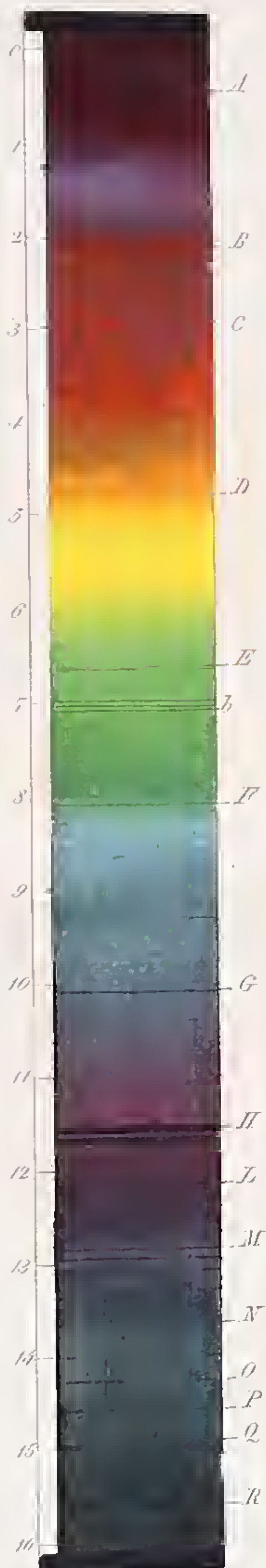


Fig. 2.



Fig. 2a.



Fig. 3.

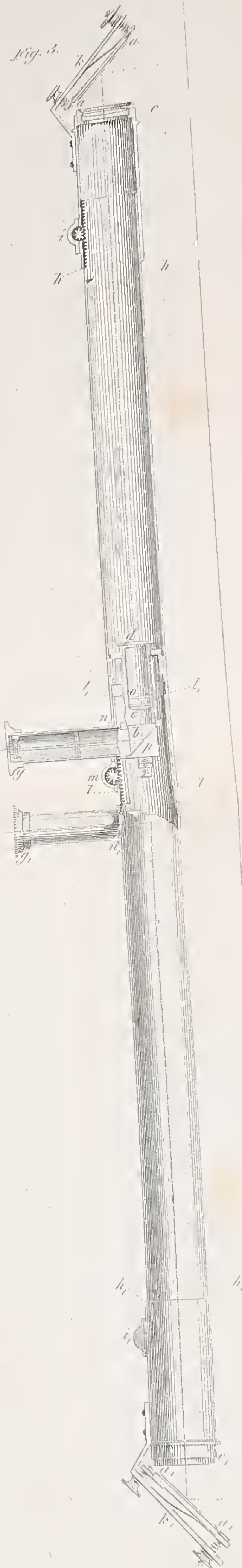


Fig. 1.

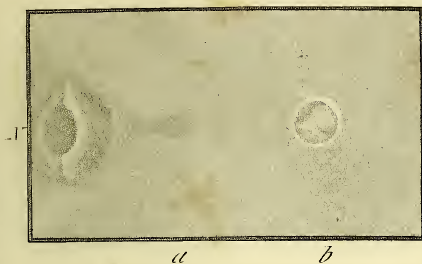


Fig. 2.

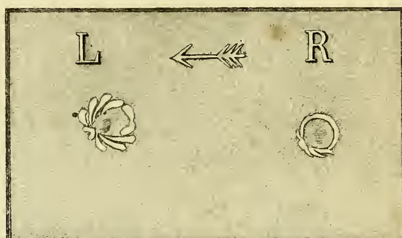
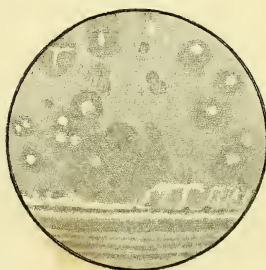


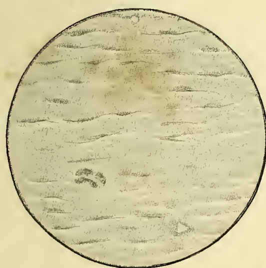
Fig. 3.



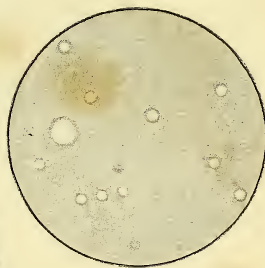
S. 151 Fig. 72.



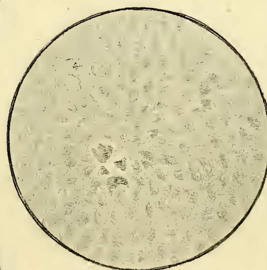
S. 151 Fig. 73.



S. 152 Fig. 74.



S. 152 Fig. 75.



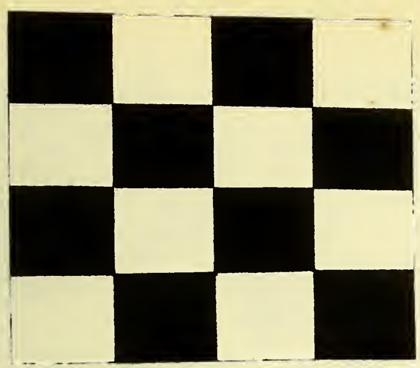
S. 152 Fig. 76.

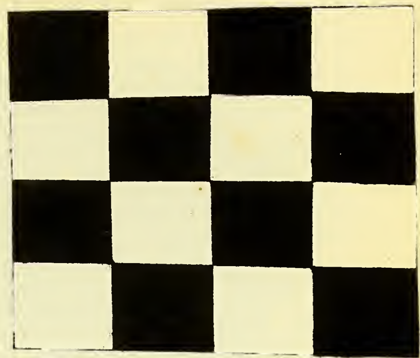


S. 152 Fig. 77.

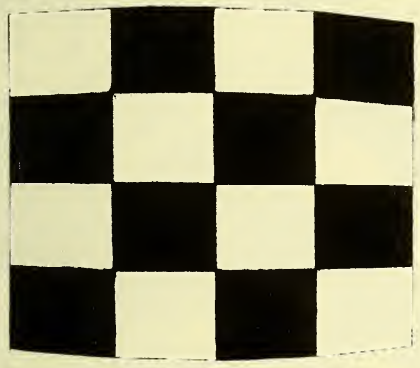


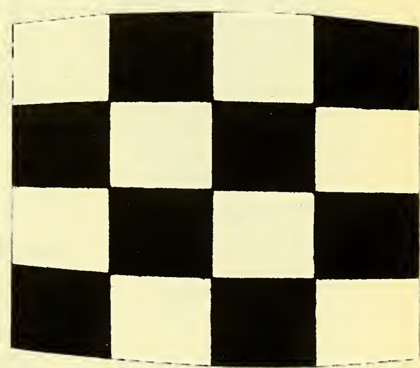
A



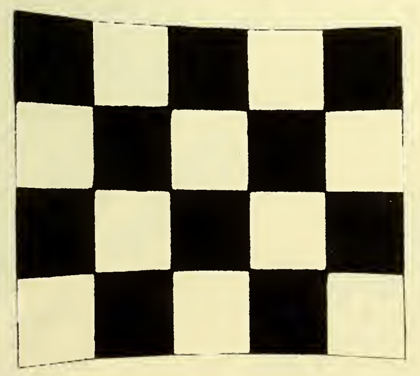


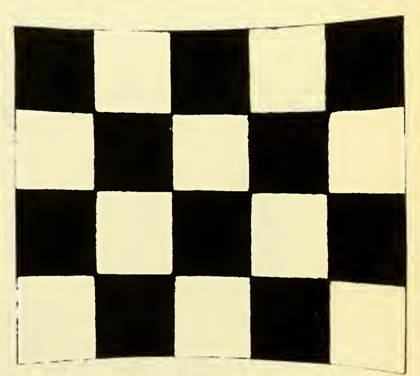
B



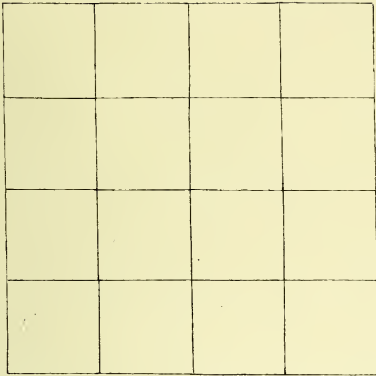


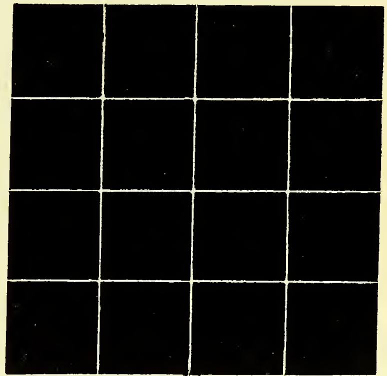
C





D

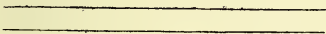




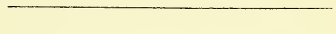
E







F

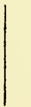


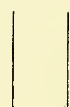


G



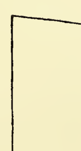
H



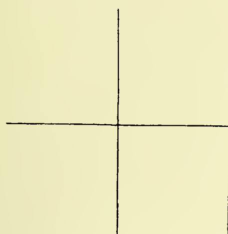


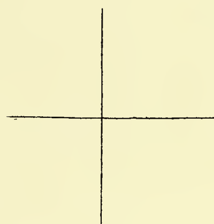


J

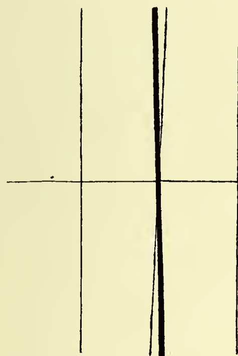


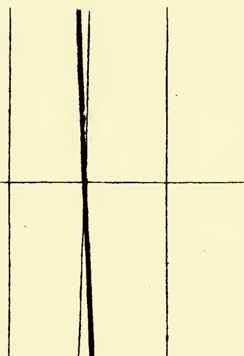
L





M

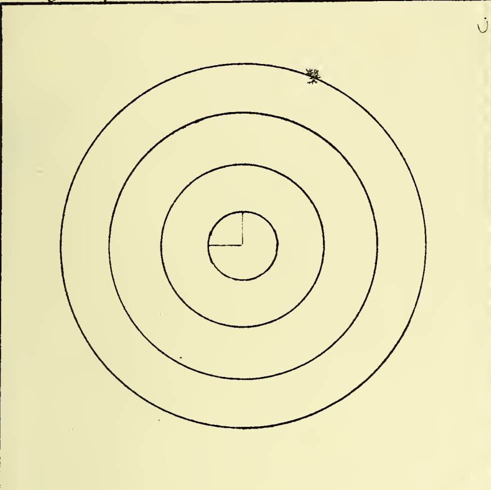


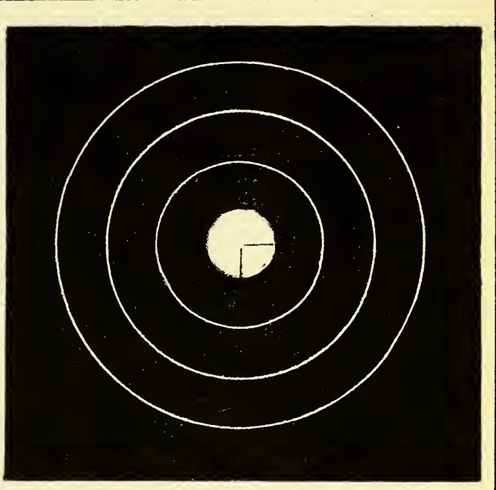


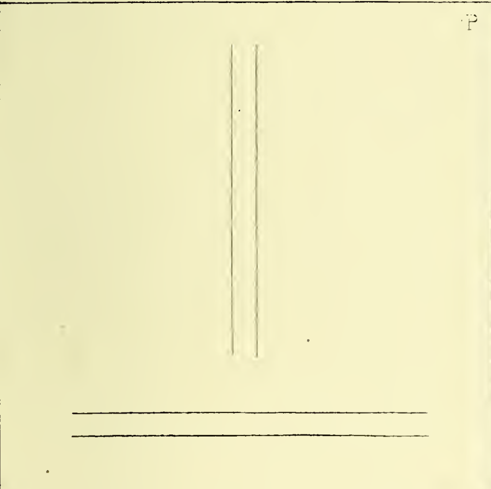
N

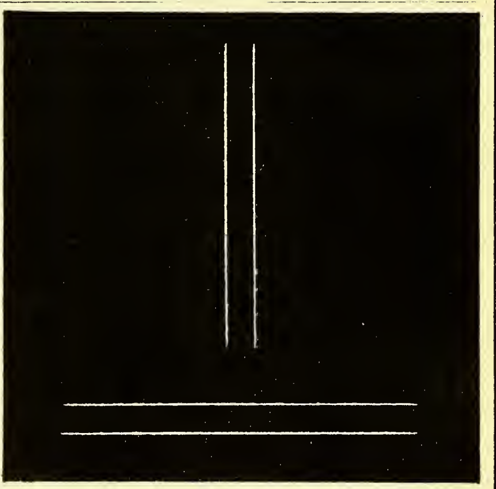


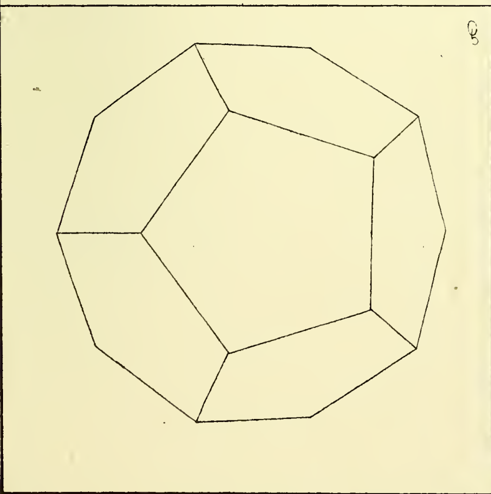


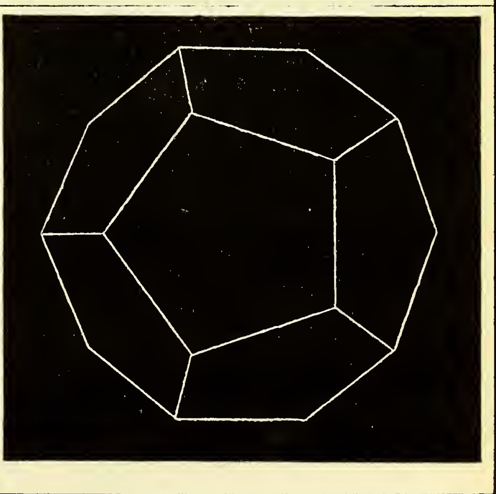




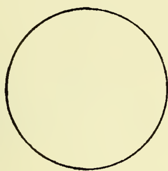


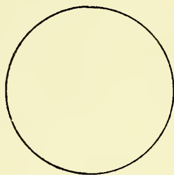




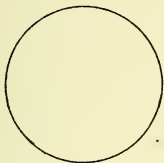


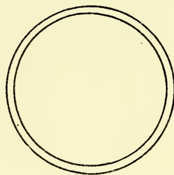
R





S



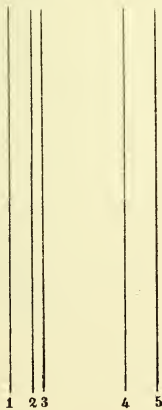


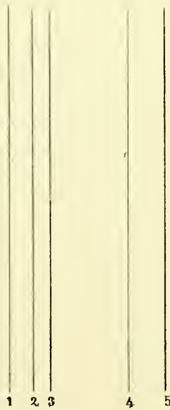
T





U





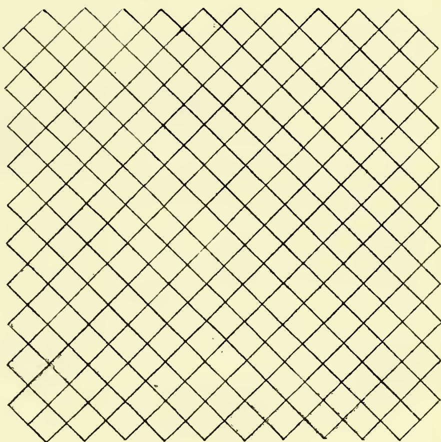
V





W





X

